www.thuvien247.net

P.G. KIXÊLEP, A.D. ALTSUL, N.V. DANHITSENKÔ, A.A. KAXPAXÔN
G.I.KRIPTSENKÔ, N.N. PASKÔP, X.M. XLIXKI

SỔ TAY
TÍNH TOÁN THỦY LỰC



NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

P.G. KIXÊLEP, A.D. ALTSUL, N.V. DANHITSENKÔ, A.A. KAXPAXÔN
G.I.KRIPTSENKÔ, N.N. PASKÔP, X.M. XLIXKI

SỔ TAY TÍNH TOÁN THỦY LỰC

Bản dịch lần thứ hai, có sửa chữa

DỊCH TỪ TIẾNG NGA :
LƯU CÔNG ĐÀO - NGUYỄN TÀI

HIỆU ĐÍNH :
GS. TSKH. NGUYỄN TÀI

NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG
HÀ NỘI - 2008

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

"Sổ tay tính toán thuỷ lực" tập hợp các công thức cơ bản, các định nghĩa, các hệ số thực nghiệm, các bảng và đồ thị bổ sung thường hay dùng trong tính toán thuỷ lực.

"Sổ tay" là cuốn sách tra cứu trong thiết kế lòng dẫn và các công trình thuỷ lợi khác, nên ngoài các vấn đề cơ bản về thuỷ lực, còn có các tư liệu về các công trình kĩ thuật thuỷ lợi và về máy thuỷ lực.

"Sổ tay" nhằm phục vụ bạn đọc là các kĩ sư, kĩ thuật viên, sinh viên và các cán bộ công tác trong lĩnh vực xây dựng các công trình kĩ thuật thuỷ lợi và sử dụng năng lượng nước.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

LỜI GIỚI THIỆU

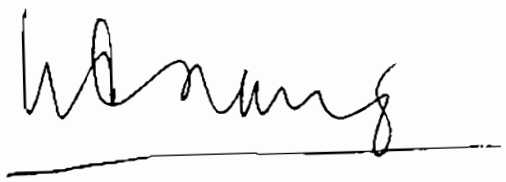
Nước là yếu tố quan trọng nhất tạo nên và duy trì sự sống, môi trường sống. Vì vậy sự hiểu biết các quy luật cân bằng và chuyển động của nước cần thiết cho mọi lĩnh vực kỹ thuật công nghệ như nông nghiệp, công nghiệp, năng lượng, cho các hoạt động dịch vụ như giao thông, y tế, du lịch v.v..., cho việc bảo vệ và cải thiện môi trường.

Cuốn "Sổ tay tính toán thủy lực" của GS. P.G. Kixelep xuất bản lần đầu tiên năm 1950 và được tái bản lần thứ sáu vào năm 1984 - là một công trình khoa học được soạn thảo công phu, đáp ứng mọi nhu cầu của các kỹ sư, kỹ thuật viên, sinh viên đại học, cao đẳng và mọi đối tượng hoạt động trong các lĩnh vực có liên quan đến nước. Cuốn sách được sử dụng rộng rãi ở nhiều quốc gia, là cẩm nang không thể thiếu trong các hoạt động khoa học, hoạt động công nghệ từ các chương trình nghiên cứu, đào tạo đến các dự án về quy hoạch sử dụng đất đai và lãnh thổ, về quản lý sử dụng nước, về xây dựng cơ sở hạ tầng, về phòng tránh thiên tai.

Bản dịch ra tiếng Việt cuốn "Sổ tay tính toán thuỷ lực" đã trở thành tài liệu rất cơ bản, cần thiết và hữu ích không những chỉ đối với các nhà nghiên cứu, chuyên gia, kỹ sư, nghiên cứu sinh, sinh viên Việt Nam mà còn nhận được sự đánh giá cao và rất trân trọng của các chuyên gia nước ngoài đang làm việc ở nước ta.

Bản dịch được tái bản lần này cũng do GS. TSKH. Nguyễn Tài và TSKH. Lưu Công Đào - những nhà nghiên cứu và sư phạm lâu năm, có uy tín cao về học thuật thực hiện. Cuốn sách đã được sửa chữa, hoàn thiện nhiều hơn so với lần xuất bản trước. Cuốn sách sẽ đáp ứng nhu cầu về tài liệu tra cứu của đông đảo độc giả - những người quan tâm đến quá trình tồn tại và vận động của nước.

Xin trân trọng giới thiệu cùng bạn đọc.



GS.TSKH. Phạm Hồng Giang
Phó Chủ tịch Tổng hội Xây dựng Việt Nam
Chủ tịch Hội Đập lớn & Phát triển nguồn nước Việt Nam

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

LỜI NÓI ĐẦU

Cuốn "Sổ tay tính toán thuỷ lực" được xuất bản lần này do P. G. Kixêlep chủ biên nhằm phục vụ cho các kĩ sư, kĩ thuật viên, sinh viên và các cán bộ công tác trong lĩnh vực xây dựng các công trình kĩ thuật thuỷ lợi.

Lần xuất bản này có một số bổ sung so với các lần xuất bản trước, đã sửa chữa những chỗ in sai hoặc thiếu sót v.v...

Trong ba lần xuất bản đầu (năm 1950, 1957, 1961) "Sổ tay" do một tác giả là P. G. Kixêlep biên soạn. Các lần xuất bản thứ tư, thứ năm (1974) và lần này vẫn giữ nguyên bố cục cũ. Nhưng để tạo điều kiện thuận lợi cho việc sử dụng trong thực tế, trong Sổ tay có kèm thêm những lời giải thích cần thiết và những thí dụ tính toán cụ thể.

Cũng như ở các lần xuất bản trước, trong Sổ tay xuất bản lần này, ngoài các vấn đề chung về thuỷ lực, còn đề cập đến nhiều vấn đề chuyên môn khác nữa. Do đó ngoài các phương pháp và công thức tính toán thuỷ lực, còn có những hệ thức khác cần cho công tác thiết kế nhằm mục đích so sánh các kết quả. Bởi vậy theo sách, bạn đọc có thể lựa chọn phương pháp hoặc công thức tính toán cho phù hợp với đặc điểm của nhiệm vụ tính toán và với độ chính xác mong muốn.

Tham gia biên soạn Sổ tay xuất bản lần này gồm có: GS. PTS. KHKT. P. G. Kixêlep (soạn các chương 1, 2, 3, 6, 8, 9, 12, 13, mục 14.7, một phần của mục 16.2 và làm chủ biên cho toàn bộ cuốn sách); PGS. TSKHKT. A. Đ Altsul (soạn các chương 4, 5, 7); PGS. PTS. KHKT. N. V. Đanhitsenkô (soạn chương 11); PGS. PTS. KHKT A. A. Kaxpaxôn (soạn phần A của chương 14 GS. TS. KHKT. G. I. Kriptsenkô (soạn phần B của chương 14 và chương 15); PGS. PTS. KHKT. N. N. Paskôp (soạn mục 16.3, 16.4, 16.5 và một phần của 16.2); GS. TS. KHKT. X. M. Xlixki (soạn chương 10).

Thay mặt cho tập thể các tác giả, tôi xin cảm ơn N. N. Paskôp - người đã đóng góp nhiều công sức cho lần xuất bản thứ năm.

P. G. Kixêlep

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

CÁC THUẬT NGỮ THƯỜNG GẶP TRONG CÁC TÀI LIỆU VỀ THUỶ LỰC

Áp lực của chất lỏng lên thành - lực mà chất lỏng ép lên một diện tích đang xét của mặt phẳng hoặc mặt cong nào đó.

Áp suất chân không (chân không) - độ chênh giữa áp suất khí quyển với áp suất toàn phần (tuyệt đối) trong chất lỏng (chất khí).

Áp suất dư - độ chênh của áp suất trong chất lỏng (chất khí) so với áp suất khí quyển.

Áp suất thuỷ tĩnh toàn phần tuyệt đối - ứng suất nén của chất lỏng thực sự tồn tại tại điểm đang xét.

Bán kính định khuynh - khoảng cách từ tâm định khuynh đến tâm chuyển nước ở trạng thái cân bằng của vật nổi.

Chất lỏng - vật thể có tính chảy, tức là có khả năng dễ dàng thay đổi hình dạng dưới tác dụng của các lực dù rất nhỏ, song khác với chất khí là mật độ biến đổi rất ít khi áp suất thay đổi.

Chất lỏng đồng nhất - chất lỏng mà mật độ của nó ở mọi điểm đều bằng nhau.

Chất lỏng hạt - thuật ngữ dùng để chỉ chất lỏng trong trường hợp cần chỉ rõ sự khác nhau giữa nó với chất khí, khi chất khí được xem như chất lỏng nén được.

Chất lỏng kị nước - chất có tính chất đẩy nước ra.

Chất lỏng lí tưởng (không nhớt) - mô hình của chất lỏng có tính chất chống lại được lực cắt.

Chất lỏng nhiều pha - chất lỏng hỗn hợp cơ học gồm chất lỏng hạt, bùn cát (pha rắn) kèm theo và chất khí (dưới dạng bọt).

Chất lỏng nhớt - chất lỏng có tính nhớt (thuật ngữ trái nghĩa với nó là "chất lỏng không nhớt").

Chất lỏng Niutơn - chất lỏng nhớt tuân theo chính xác Định luật ma sát của Niutơn $\tau = \mu du/dn$; chất lỏng phi Niutơn là chất lỏng không tuân theo Định luật đó.

Chất lỏng thực - chất lỏng có tất cả các tính chất vật lí đặc trưng của nó (thường dùng như thuật ngữ trái nghĩa với thuật ngữ "chất lỏng lí tưởng").

Chiều cao dẫn xuất - chiều cao của cột chất lỏng tương ứng với áp suất tuyệt đối (toàn phần) của chất lỏng tại điểm đang xét.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Chiều cao định khuynh - khoảng cách từ tâm định khuynh đến trọng tâm của vật.

Chiều cao đo áp - chiều cao của cột chất lỏng khi mà áp suất ở mặt thoáng (của nó) bằng không thì trọng lượng của nó bằng áp suất tại điểm đang xét, tức là bằng chiều cao của cột chất lỏng và bằng p/γ.

Chiều cao vận tốc (cột nước vận tốc) - chiều cao rơi tự do của phần tử chất lỏng để có vận tốc bằng với vận tốc đã cho tức là chiều cao $v^2/2g$.

Tích số $\rho v^2/2g$ gọi là áp suất động lực.

Chuyển động ổn định - chuyển động của các chất lỏng mà các đặc trưng của dòng chảy ở điểm bất kì có tính không thay đổi theo thời gian.

Chuyển động đều - chuyển động mà vận tốc tại hai điểm tương ứng trên hai mặt cắt kề nhau thì bằng nhau.

Chuyển động đối xứng trục - chuyển động của chất lỏng mà trường vận tốc, áp suất và các đặc trưng khác ở trên mọi mặt phẳng đi qua trục đối xứng đều như nhau.

Chuyển động đơn phương - chuyển động của chất lỏng theo một trục nào đó mà các đặc trưng của nó (vận tốc, áp suất v.v...) không phụ thuộc vào khoảng cách của phần tử đến trục ấy.

Chuyển động êm - chuyển động của chất lỏng trong lòng dẫn hở với chiều sâu lớn hơn chiều sâu phân giới.

Chuyển động không áp - chuyển động của chất lỏng có mặt thoáng (mặt tự do).

Chuyển động không xoáy (chuyển động có thế) - chuyển động của chất lỏng mà các phần tử chất lỏng không quay xung quanh trọng tâm của chúng.

Chuyển động phẳng (chuyển động song phẳng) - chuyển động của chất lỏng song song với mặt phẳng cố định nào đó mà các đặc trưng (vận tốc, áp suất v.v...) không phụ thuộc vào khoảng cách từ phần tử chất lỏng đến mặt phẳng đó.

Chuyển động nhũ tương - chuyển động mà hỗn hợp khi có thể xem gần như là chất lỏng đồng nhất.

Chuyển động rối - chuyển động của chất lỏng có mạch động vận tốc do sự xáo trộn phân tử của chất lỏng gây ra.

Chuyển động tắc nghẽn - chuyển động mà trong đó pha khí của hỗn hợp chiếm toàn bộ mặt cắt của ống dẫn một cách tuần hoàn.

Chuyển động tầng - chuyển động của chất lỏng không có mạch động vận tốc và do đó không có sự xáo trộn phân tử của chất lỏng.

Chuyển động thay đổi dần - chuyển động không đều của chất lỏng khi độ cong của các đường dòng và góc kẹp giữa chúng rất nhỏ.

Chuyển động thế - xem chuyển động không xoáy.

Chuyển động xoáy của chất lỏng - chuyển động của chất lỏng mà các phần tử của nó còn có chuyển động quay xung quanh trọng tâm của chúng.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Chuyển động đinh vít của chất lỏng - là trường hợp riêng của chuyển động xoáy khi vectơ vận tốc góc trùng với phương của vectơ chuyển động thẳng của chất lỏng.

Cột nước - tổng của ba chiều cao: chiều cao vị trí, chiều cao áp lực và chiều cao vận tốc.

Cơ học lưu chất (cơ học chất lỏng) - phần cơ học chuyên nghiên cứu về chuyển động và cân bằng của lưu chất (chất lỏng) và tác dụng tương hỗ của nó với các vật rắn được nhúng một phần hoặc toàn bộ trong nó.

Dòng chảy thứ cấp (cấp phó) - dòng chảy xuất hiện cùng với dòng chuyển động tịnh tiến (dòng chính) của chất lỏng đang xét, ví dụ, dòng chảy vòng ở khu nước quay.

Biến dạng của dòng tia - sự thay đổi hình dạng của mặt cắt ngang của dòng tia theo chiều dài của nó (khi chất lỏng chảy từ lỗ vào không khí).

Đặc trưng lưu lượng (thuật ngữ không nên dùng "đặc trưng thoát nước", "môdun lưu lượng") - lưu lượng của lòng dẫn với độ dốc thuỷ lực bằng một đơn vị.

Đặc trưng vận tốc W - tích của hai số hạng đầu tiên ở vế phải trong công thức: $v = C\sqrt{Ri}$ $(W = C\sqrt{R})$; là vận tốc khi độ dốc thuỷ lực bằng một đơn vị.

Đập tràn - vật cản bất kỳ ngăn dòng mà dòng chảy có thể tràn qua được.

Đêbit (lưu lượng trong chuyển động của nước ngầm) - lưu lượng thấm (trong trường hợp đặc biệt - dòng chảy vào các giếng).

Độ dốc đáy lòng dẫn - độ hạ thấp của đáy lòng dẫn dọc theo chiều dòng chảy của chất lỏng và được xác định theo công thức $i = -dz/ds$.

Độ dốc đo áp - độ giảm thế năng của dòng chảy theo chiều dài của nó.

Độ dốc phân giới - độ dốc đáy mà trong đó độ sâu bình thường của dòng chảy bằng độ sâu phân giới.

Độ dốc thuỷ lực - (thuật ngữ không nên dùng "gradien thuỷ lực") là độ giảm năng lượng đơn vị (tỉ năng) trên chiều dài của dòng chảy.

Độ nhớt động học - tỉ số giữa độ nhớt động lực và mật độ của chất lỏng. Kí hiệu là ν.

Độ nhớt động lực (hay hệ số nhớt) - đặc trưng nhớt của chất lỏng biểu thị bằng tỉ số giữa ứng suất tiếp tuyến tại điểm trên mặt tiếp xúc giữa các tầng của chất lỏng với gradien vận tốc của điểm ấy theo phương pháp tuyến với mặt phẳng tiếp xúc khi chất lỏng chuyển động theo các tầng song song.

Độ sâu liên hợp (độ sâu nối tiếp) - các độ sâu của dòng chảy ở trước và sau nước nhảy.

Độ sâu phân giới - độ sâu của dòng chảy mà trong đó năng lượng đơn vị của mặt cắt tương ứng với lưu lượng đã cho đạt được giá trị nhỏ nhất.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Độ sâu thường ngày (hay độ sâu bình thường) - độ sâu của dòng chảy trong chuyển động đều.

Độ thô thuỷ lực - tốc độ lắng của các phần tử rắn trong chất lỏng không chuyển động.

Đường cong bão hoà - đường cong biểu diễn mặt tự do (mặt thoáng) của nước ngầm trên mặt phẳng đứng.

Đường dòng - đường cong vẽ qua các điểm liên tiếp nhau mà tại đó dòng chảy có các vectơ vận tốc tiếp tuyến với đường đó.

Đường nước dâng - đường mặt nước tự do (mặt thoáng) của dòng chảy mà độ sâu tăng lên theo chiều chuyển động.

Đường nước hạ - đường mặt nước tự do (mặt thoáng) của dòng chảy mà độ sâu giảm xuống theo chiều chuyển động.

Đường xoáy - đường mà tiếp tuyến tại mọi điểm của nó là các vectơ xoáy tại điểm đó.

Gradien vận tốc (grad v = dv/dn) - cường độ thay đổi của vận tốc theo một phương nào đó, thường là phương trực giao với phương của vận tốc.

Hệ số động lượng của dòng chảy (hệ số Buxinet) - tỉ số giữa động lượng thực của dòng chảy và động lượng tính theo giả thiết là vận tốc tại tất cả các điểm trên mặt cắt ướt đều bằng vận tốc trung bình của dòng chảy.

Hệ số động năng của dòng chảy (hệ số Côriôlit) - tỉ số giữa động năng đơn vị thực của dòng chảy và động năng đơn vị tính theo giả thiết là vận tốc của các điểm trong mặt cắt ngang đều bằng vận tốc trung bình.

Ghi chú: Trong cuốn sách này hệ số đó (thường kí hiệu bằng chữ a) được gọi là "hiệu chỉnh cột nước vận tốc" (xem mục 3.3).

Hệ số Sêzi (hay thừa số vận tốc) - tên gọi của hệ số C có thứ nguyên trong công thức vận tốc trung bình của dòng chảy ở trạng thái chảy đều, tức là trong công thức Sêzi: $v = C\sqrt{Ri}$.

Hệ số ma sát thuỷ lực (hệ số Đacxi) λ - đại lượng không thứ nguyên phụ thuộc vào độ nhám của thành lòng dẫn và số Râynôn.

Hệ số thấm - vận tốc thấm khi độ dốc thuỷ lực bằng một đơn vị.

Khu nước quay - khu vực do khối chất lỏng quay chiếm chỗ và có biên giới với chủ lưu của dòng chảy đang xét.

Kì vọng toán học - giới hạn của giá trị trung bình số học của một dãy các đại lượng khi số lượng của chúng tăng lên vô hạn.

Lưới thuỷ động lực - lưới các hình vuông cong do họ các đường đẳng thế vận tốc và họ các đường dòng (đường chuyển động) cắt nhau mà tạo nên.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Lưu lượng - khối chất lỏng đi qua mặt cắt ngang của dòng chảy trong một đơn vị thời gian.

Lưu lượng đơn vị - lưu lượng tính trung bình cho một đơn vị chiều rộng của đập tràn hoặc kênh có mặt cắt chữ nhật.

Mạch động áp suất - độ lệch dao động của áp suất tại điểm đang xét so với giá trị trung bình của nó.

Mạch động vận tốc - độ lệch dao động của vận tốc tức thời so với vận tốc trung bình tức thời, bằng $\pm \Delta u$.

Mặt tự do (mặt thoáng) - mặt ngăn cách giữa chất lỏng với môi trường khí có áp suất cố định.

Năng lượng đơn vị - cơ năng của chất lỏng tính cho một đơn vị lưu lượng trọng lượng tại một mặt phẳng nằm ngang nào đó. Trị số của nó bằng cột nước.

Tầng tựa nước - tầng đất mà nước không xuyên qua được, khu vực đất xốp đã bão hoà nước.

Nước nhảy - dạng quá độ đột ngột của dòng chất lỏng chuyển từ trạng thái chảy xiết sang chảy êm.

Nước va - sự thay đổi đột ngột về áp suất của chất lỏng trong chuyển động có áp do có sự thay đổi đột ngột của vận tốc trong một khoảng thời gian rất ngắn gây ra.

Ống dòng - ống được hình thành bởi một hệ các đường dòng đi qua các điểm của một đường viền nhỏ và khép kín.

Ống xoáy - ống được hình thành bởi một hệ các đường xoáy đi qua các điểm của một đường viền nguyên tố khép kín.

Phương sai - thuật ngữ xác định giá trị chính xác (kì vọng toán học) của bình phương độ lệch trung bình của đại lượng ngẫu nhiên so với giá trị chính xác của nó (bình phương chuẩn):

$$\delta^2 = M[x - M(x)]^2$$

Sóng dao động - các sóng còn lan truyền sau khi gió ngừng thổi.

Sóng do gió - sóng trên mặt thoáng của nước do tác dụng của gió gây ra.

Số Makhơ - tỉ số giữa vận tốc thực của dòng và vận tốc truyền âm thanh trong chất lỏng đó.

Số mũ thuỷ lực - bậc luỹ thừa của độ sâu tương đối của dòng chảy trong lòng dẫn hở sao cho bằng được bình phương tỉ số của các đặc trưng lưu lượng tương ứng.

Sợi xoáy - khối chất lỏng chuyển động chứa trong ống xoáy.

Thấm - chuyển động của chất lỏng qua môi trường có khe rỗng.

Thể tích chuyển nước - thể tích của phần vật thể nhúng chìm trong chất lỏng.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Thuỷ động lực học - phần cơ học chất lỏng (cơ học chất nước) chuyên nghiên cứu về chuyển động của chất lỏng và cả tác động qua lại giữa chất lỏng với các vật rắn chuyển động tương đối trong chất lỏng.

Thuỷ lực - phần cơ học chất lỏng mà ngoài các vấn đề chung về cân bằng và chuyển động của chất lỏng còn nghiên cứu các vấn đề riêng có liên quan đến thực tiễn các công trình kĩ thuật thuỷ lợi.

Tính nhớt (độ nhớt) - tính chất cản của chất lỏng chống lại chuyển động tương đối (trượt) của các hạt chất lỏng với nhau.

Tổn thất cột nước cục bộ - tổn thất năng lượng đơn vị của dòng chảy để thắng sức cản cục bộ.

Tổn thất cột nước dọc đường - các tiêu hao năng lượng đơn vị của dòng chất lỏng để thắng lực ma sát, nó tỉ lệ với chiều dài của đoạn tính toán.

Trạng thái chảy êm của dòng chảy - trạng thái của dòng chảy với độ sâu lớn hơn độ sâu phân giới.

Trạng thái chảy xiết của chất lỏng - trạng thái dòng chảy có độ sâu nhỏ hơn độ sâu phân giới.

Trọng lượng đơn vị của chất lỏng - xem trọng lượng thể tích của chất lỏng.

Trọng lượng thể tích của chất lỏng - tỉ số giữa trọng lượng của chất lỏng và thể tích của nó hoặc là trọng lượng của một đơn vị thể tích.

Ghi chú: Thuật ngữ này được dùng rất rộng rãi và không thuộc loại thuật ngữ "không được dùng", nên được chấp nhận trong cuốn sách này. Theo "Thuật ngữ cơ học chất lỏng" (NXB VHLKH Liên Xô, tập 12, 1952) người ta dùng thuật ngữ "trọng lượng đơn vị" thay cho thuật ngữ "trọng lượng thể tích".

Trộn khí trong dòng chất lỏng - trạng thái bão hoà không khí trong quá trình chuyển động của chất lỏng.

Tỉ trọng - tỉ số giữa trọng lượng của vật thể với trọng lượng của nước cất có cùng một thể tích và ở nhiệt độ 4°C.

Vận tốc cục bộ - vận tốc tại điểm đang xét.

Vận tốc động lực - hay vận tốc của ứng suất tiếp tuyến trên thành - là đại lượng được xác định theo công thức $u_* = \sqrt{gRi}$.

Vận tốc phân giới Râynôn - vận tốc trung bình của dòng chảy ứng với số Râynôn phân giới (trong các điều kiện đã cho).

Vận tốc thấm - vận tốc trung bình của dòng chảy bằng tỉ số giữa lưu lượng thấm Q và mặt cắt ngang của môi trường thấm.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Vận tốc thấm trung bình thực tế - tỉ số giữa lưu lượng dòng chảy đi qua một diện tích nguyên tố mặt cắt ngang của phần thấm trong môi trường xốp và diện tích các lỗ rỗng ở trên diện tích nguyên tố ấy.

Vận tốc trung bình của dòng chảy - vận tốc mà mọi chất điểm của chất lỏng buộc phải chuyển động qua mặt cắt ướt của dòng sao cho có lưu lượng đúng bằng lưu lượng của dòng chảy với vận tốc thực tế đi qua mặt cắt đó.

Xâm thực - hiện tượng phá hoại tính liên tục của chất lỏng đang chuyển động do sự thành tạo các bọt khí hoặc bọt hơi của chất lỏng ở bên trong chất lỏng đó gây ra.

Xoáy - kí hiệu là rotv, là vectơ bằng hai lần vận tốc góc tại điểm trên dòng chất lỏng (chất khí) và được xác định bởi các thành phần.

$$2\omega_x = \left(\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z}\right); \qquad 2\omega_y = \left(\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x}\right); \qquad 2\omega_z = \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}\right)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

CÁC KÍ HIỆU TOÁN HỌC

= và ≠	bằng và không bằng
≈	gần bằng
> và <	lớn hơn và nhỏ hơn
≯ và ≮	không lớn hơn và không nhỏ hơn
>> và <<	lớn hơn rất nhiều và nhỏ hơn rất nhiều
log và ln	lôgarit thập phân và lôgarit tự nhiên
⊥ và //	thẳng góc và song song
∞	vô hạn
→	tiến dần đến...
lim	giới hạn
Σ	tổng
Δ	số gia
const	đại lượng không đổi (hằng số)
idem	đồng nhất
≈	tương tự
$\|A\|_t$	đại lượng A là hằng số đối với đại lượng t
f(...); φ(...), F(...)	kí hiệu các hàm
<	góc
dim	thứ nguyên
exp	expônen, kí hiệu quy luật hàm mũ của đại lượng y với đại lượng x; $y = e^x = \exp x$.
Δ	kí hiệu toán tử vi phân của hàm.

CHỮ HY LẠP

A α anfa	B β bêta	Γ γ gama	Δ δ đenta	E ε epxilon	Z ζ zêta
H η êta	H θ ϑ têta	I L iôta	K κ ϰ kapa	Λ λ lamda	M μ muy
N ν nuy	Ξ ξ khơxi	O o ômicơrông	Π π pi	P ρ rô	Σ σ xicma
T τ tô	V υ xilon	Φ φ fi	X χ khi	Ψ ψ pxi	Ω ω ômega

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

CHỮ LATINH

A a a	B b bê	C c xê	D d đê	E e e	F f efơ	G g giê
H h hasơ	I i i	J j gi	K k ka	L l elờ	M m em	N n en
O o ô	P p pê	Q q quy	R r erơ	S s exơ	T t tê	U u u
V v vê	W w vêkep	X x icxơ	Y y y	Z z zet		

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Chương 1

CÁC BẢNG, CÁC SỐ LIỆU PHỤ

1.1. KHAI PHƯƠNG VÀ CĂN BẬC BA CỦA MỘT SỐ CON SỐ

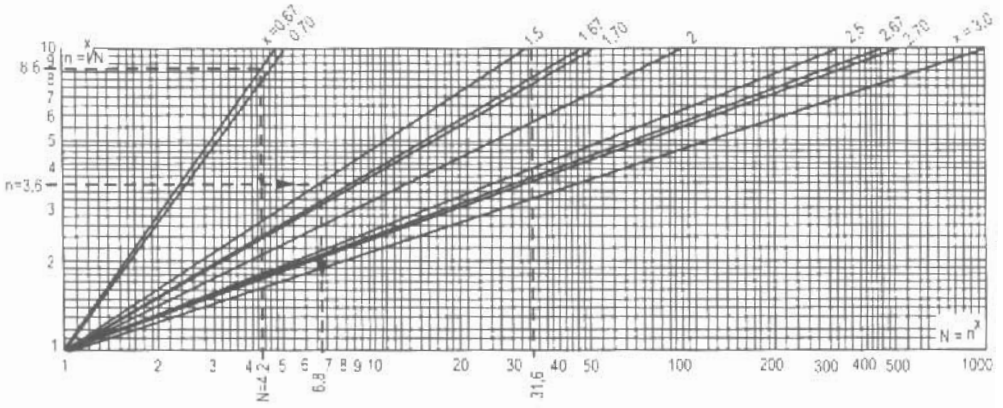
n	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	n	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	n	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$
0,01	0,100	0,215	0,20	0,447	0,585	3	1,732	1,442
0,02	0,141	0,271	0,30	0,548	0,669	4	2,000	1,587
0,03	0,173	0,311	0,40	0,632	0,737	5	2,236	1,710
0,04	0,200	0,342	0,50	0,707	0,794	6	2,450	1,817
0,05	0,224	0,368	0,60	0,775	0,843	7	2,646	1,913
0,06	0,245	0,391	0,70	0,837	0,888	8	2,828	2,000
0,07	0,265	0,412	0,80	0,894	0,928	9	3,000	2,080
0,08	0,283	0,431	0,90	0,949	0,965	10	3,162	2,154
0,09	0,300	0,448	1	1,000	1,000			
0,10	0,316	0,464	2	1,414	1,260			

1.2. TÍCH PHÂN ELIPTIC LOẠI 1: $F(\lambda, \varphi) = \int_0^{\varphi} \frac{d\varphi}{\sqrt{1-\lambda^2 \sin^2 \varphi}}$; $\lambda = \sin\theta$

φ độ	θ độ									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0,1745	0,1746	0,1746	0,1748	0,1749	0,1751	0,1752	0,1753	0,1754	0,1754
20	0,3491	0,3493	0,3499	0,3508	0,3520	0,3533	0,3545	0,3555	0,3561	0,3564
30	0,5236	0,5243	0,5263	0,5294	0,5334	0,5379	0,5422	0,5459	0,5484	0,5493
40	0,6981	0,6997	0,7043	0,7116	0,7213	0,7323	0,7436	0,7535	0,7604	0,7629
50	0,8727	0,8756	0,8842	0,8982	0,9173	0,9401	0,9647	0,9876	1,0044	1,0107
60	1,0472	1,0519	1,0666	1,0896	1,1226	1,1643	1,2125	1,2619	1,3014	1,3170
70	1,2217	1,2288	1,2495	1,2853	1,3372	1,4068	1,4944	1,5955	1,6918	1,7354
80	1,3963	1,4056	1,4344	1,4846	1,5597	1,6660	1,8125	2,0119	2,2653	2,4362
90	1,5708	1,5828	1,6200	1,6858	1,7868	1,9356	2,1565	2,5046	3,1534	

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 1.1: *Đồ thị để xác định gần đúng trị số $N = n^x$ và $n = \sqrt{N}$ với các giá trị x khác nhau*

Ví dụ: Cho n = 8,6, tìm $N = 8,6^{0,67}$.

Giải: Sử dụng đường thẳng ứng với x = 0,67, theo thước N (theo trục hoành) để được N = 4,2.

Ghi chú. Để nâng các số > 10 lên số mũ x cần sử dụng quy tắc:

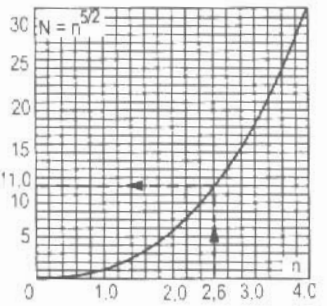
$N = (n.10)^x = n^x.10^x$

Ví dụ:

$36^{1,5} = 3,6^{1,5}.10^{1,5} = 6,8.31,6 = 215$

Ví dụ: Cho n = 2,6; tìm được:

$N = 2,6^{5/2} = 11.$



Hình 1.2: *Đồ thị để xác định $N = n^{5/2}$ và cũng để xác định $n = N^{2/5}$*

1.3. CÁC ĐẠI LƯỢNG VÀ HỆ THỨC THƯỜNG GẶP

$\pi = 3,14159$	$tg30^0 = ctg60^0 = \sqrt{3}/3$
$\pi/4 = 0,78540$	$tg45^0 = ctg45^0 = 1,0$
$\pi/2 = 1,57080$	$tg60^0 = ctg30^0 = \sqrt{3}$
$g = 9,81 m/s^2$	$e = 2,71828$
$\sqrt{g} = 3,13209$	$\ln e = 1,0$
$\sqrt{2g} = 4,42945$	$\ln 10 = 2,30259 \left(= \frac{1}{M}\right)$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$\sqrt{2} = 1,4142$

$\sqrt{3} = 1,7321$ $\qquad$ $\lg 10 = 1,0$

$\sin 30^o = \cos 60^o = 1/2$ $\qquad$ $\lg e = 0,43429\ (= M)$

$\sin 45^o = \cos 45^o = \sqrt{2}/2$ $\qquad$ $\lg n = \ln 10.\lg n = 2,3\lg n$

$\sin 60^o = \cos 30^o = \sqrt{3}/2$ $\qquad$ $\lg n = \lg e.\ln n = 0,434\ln n$

1.4. GIÁ TRỊ CỦA g Ở MỘT SỐ NƠI TRÊN TRÁI ĐẤT

Gia tốc rơi tự do g trong các tính toán kĩ thuật thông thường lấy bằng 9,81 m/s^2. Đối với các nơi khác nhau trên trái đất, đại lượng g có thể tìm được theo công thức:

$$g = 9,806056 - 0,025028\cos 2\varphi = 0,000003h$$

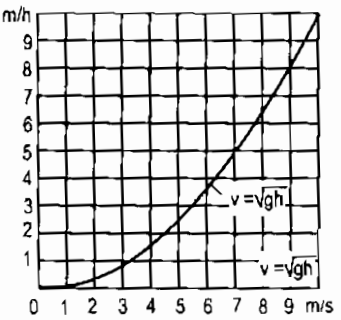
trong đó: φ - vĩ độ địa lí của nơi đó;

h - độ cao so với mặt biển tính bằng m.

Tên địa điểm	φ	g (m/s^2)
Cực	90^o	9,831
Vĩ độ 45^o	45^o	9,806
Xích đạo	0^o	9,781
Ackhanghenxcơ	$64^o31'$	9,822
Lêningrat	$59^o56'$	9,819
Matxcơva	$55^o45'$	9,815
Kiep	$50^o27'$	9,811
Tbilixi	$46^o42'$	9,803

Ghi chú: Nếu chiều cao h không tính bằng m mà bằng dm thì trị số v tìm được cần nhân với $\sqrt{10} = 3,16$.

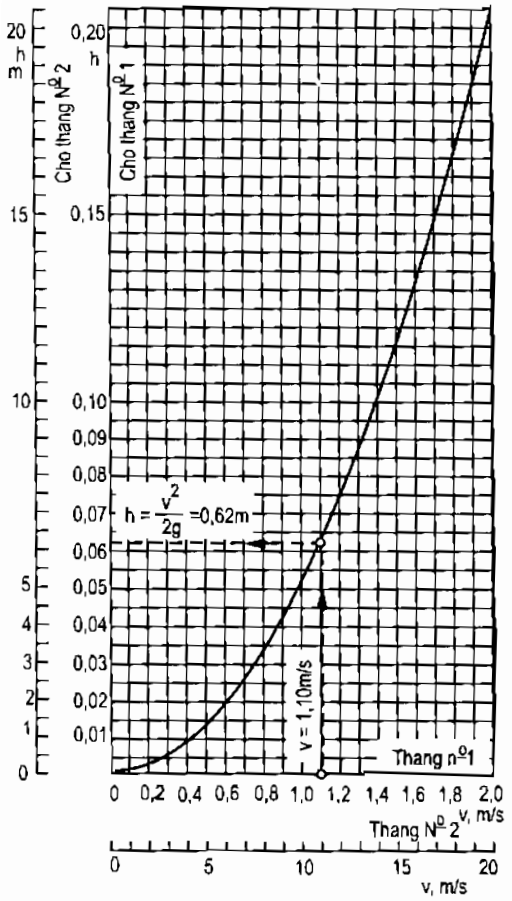
Thí dụ: Cho h = 5dm. Theo đồ giải, đọc được v = 7,00. Khi đó vận tốc đang tìm $v' = 7.\sqrt{10} = 22,1$ (dm/s). Nếu chiều cao h tính bằng cm thì trị số tìm được theo đồ giải cần nhân với 10.



Hình 1.3: *Đồ giải để xác định vận tốc v (m/s) theo công thức* $v = \sqrt{gh}$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



***Hình 1.4**: Đồ thị để xác định đại lượng* $h = \frac{v^2}{2g}$ *và* $v = \sqrt{2gh_o}$

1.5. CÁC HỆ THỐNG ĐƠN VỊ ĐO LƯỜNG CƠ BẢN CÁC ĐẠI LƯỢNG VẬT LÍ

a) Các đơn vị quan trọng nhất của hệ quốc tế SI được sử dụng trong thủy lực

Bảng A

Đại lượng		Đơn vị	
Tên gọi	Thứ nguyên	Tên gọi	Ký hiệu
1	*2*	*3*	*4*
1. Các đơn vị cơ bản			
Chiều dài	L	mét	m
Khối lượng	M	kilôgam	kg
Thời gian	T	giây	s
Nhiệt độ Kenvin nhiệt động	θ	kenvin	K

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

1	2	3	4
		2. Đơn vị bổ sung	
Góc phẳng		radian	rad
		3. Các đơn vị dẫn xuất của không gian và thời gian	
Diện tích	L^2	mét vuông	m^2
Thể tích	L^3	mét khối	m^3
Tốc độ	LT^{-1}	mét trên giây	m/s
Gia tốc	LT^{-2}	mét trên giây bình phương	m/s^2
Tần số	T^{-1}	héc	Hz
Tần số quay	T^{-1}	một trên giây	1/s
Tốc độ góc	T^{-1}	radian trên giây	rad/s
Gia tốc góc	T^{-2}	radian trên giây bình phương	rad/s^2
		4. Các đơn vị dẫn xuất của các đại lượng cơ học	
Mật độ	$L^{-3}M$	kilôgam khối lượng trên mét khối	kg/m^3
Thể tích đơn vị	L^3M^{-1}	mét khối trên kilôgam khối lượng	m^3/kg
Mômen động quán tính	L^2M	kilogam khối lượng - mét vuông	$kg.m^2$
Mômen quán tính của tiết diện phẳng (trục, cực, li tâm)	L^4	mét lũy thừa bốn	m^4
Động lượng	LMT^{-1}	kilôgam khối lượng - mét trên giây	kg.m/s
Mômen động lượng	L^2MT^{-1}	kilogam khối lượng mét bình phương trên giây	$kg.m^2/s$
Lực	LMT^{-2}	niutơn	N
Mômen lực, mômen ngẫu lực	L^2MT^{-2}	niutơn - mét	N.m
Xung lực	LMT^{-1}	niutơn - giây	N.s
Áp suất, ứng suất (cơ học)	$L^{-1}MT^{-2}$	pascan	Pa
Môđun đàn hồi dọc Môđun trượt Môđun nén thể tích	$L^{-1}MT^{-2}$	pascan	Pa
Sức căng mặt ngoài	MT^{-2}	niutơn trên mét	N/m
Công Năng lượng	L^2MT^{-2}	Jun	J

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

1	2	3	4
Công suất	L^2MT^{-3}	Oát	W
Nhớt động lực	$L^{-1}MT^{-1}$	pascan trên giây	Pa/s
Nhớt động học	L^2T^{-1}	mét vuông trên giây	m^2/s
Lưu lượng khối	MT^{-1}	kilôgam trên 1 giây	kg/s
Lưu lượng thể tích	L^3T^{-1}	mét khối trên giây	m^3/s

b) Các đơn vị quan trọng của hệ MK GS của ГОСТ 7664-61. Các đơn vị cơ học

Bảng B

Đại lượng		Đơn vị	
Tên gọi	Thứ nguyên	Tên gọi	Ký hiệu
Các đơn vị cơ bản			
Chiều dài	L	mét	m
Lực	F	kilôgam lực	kG
Thời gian	T	giây	s
Các đơn vị dẫn xuất			
Tần số	T^{-1}	hec	Hz
Tốc độ góc	T^{-1}	radian trên giây	rad/s
Gia tốc góc	T^{-2}	radian trên giây bình phương	rad/s^2
Tốc độ	LT^{-1}	mét trên giây	m/s
Gia tốc	LT^{-2}	mét trên giây bình phương	m/s^2
Diện tích	L^2	mét vuông	m^2
Thể tích	L^3	mét khối	m^3
Khối lượng	FT^2L^{-1}	kilôgam lực - giây bình phương trên mét	$kG.s^2/m$
Trọng lượng đơn vị	FL^{-3}	kilôgam lực trên mét khối	kG/m^3
Mật độ	FT^2L^{-4}	kilôgam lực - giây bình phương trên mét lũy thừa bốn	$kG.s^2/m^4$
Mômen quán tính	FT^2L	kilôgam lực - giây bình phương - mét	$kG.s^2.m$
Công và năng lượng	FL	kilôgam lực - mét	kG.m
Công suất	FLT^{-1}	kilôgam lực - mét trên giây	kG.m/s
Ứng suất (áp suất)	FL^{-2}	kilôgam lực trên mét bình phương	kG/m^2
Hệ số nhớt động lực	FTL^{-2}	kilôgam lực - giây trên mét bình phương	$kG.s/m^2$
Hệ số nhớt động	L^2T^{-1}	mét bình phương trên giây	m^2/s

https://tieulun.hopto.org

1.6. QUAN HỆ GIỮA ĐƠN VỊ CỦA HỆ THỐNG MKGS VỚI HỆ SI VÀ CÁC ĐƠN VỊ CỦA CÁC HỆ THỐNG KHÁC

a) Đơn vị chiều dài

Đơn vị chiều dài	km	m	cm	insơ	fut	iat	xagiên	hải lý Anh	hải lý biển
1 km	1	10^3	10^5	$3,94.10^4$	$3,28.10^3$	1098,6	468,7	0,655	0,540
1 m	10^{-3}	1	10^2	39,4	3,28	1,0986	0,4687	$6,55.10^{-4}$	$5,4.10^{-4}$
1 cm	10^{-5}	10^{-2}	1	0,394	3,28.10	$1,098.10^{-2}$	$4,687.10^{-3}$	$6,55.10^{-6}$	$5,4.10^{-6}$
1 insơ	$2,54.10^{-5}$	$2,54.10^{-2}$	2,54	1	$8,33.10^{-2}$	$2,78.10^{-2}$	$1,19.10^{-2}$	$1,655.10^{-5}$	$1,37.10^{-5}$
1 fut	$3,05.10^{-4}$	0,305	30,5	12	1	1/3	1/7	$0,2.10^{-3}$	$0,165.10^{-3}$
1 iat	$0,914.10^{-3}$	0,9144	91,44	36	3	1	0,429	$0,6.10^{-3}$	$0,495.10^{-3}$
1 xagiên	$2,134.10^{-3}$	2,1336	213,36	84	7	2,333	1	$1,4.10^{-3}$	$1,15.10^{-3}$
1 hải lý Anh	1,525	1525	$152,5.10^3$	60.10^3	5000	1666,67	714,285	1	0,825
1 hải lý biển	1,8532	1853,2	$185,32.10^3$	$72,9.10^3$	6080	2035	868	1,230	1
1 hải lý địa lý	7,4205								

b) Đơn vị diện tích

Đơn vị thể tích	km^2	ha	a	m^2	$(insơ)^2$	$(fut)^2$	$(hải\ lí\ biển)^2$
1 km^2	1	100	10^4	10^6	$1,55.10^9$	$1,08.10^7$	0,292
1 ha	10^{-2}	1	10^2	10^4	$1,55.10^7$	$1,08.10^5$	$2,92.10^{-3}$
1 a	10^{-4}	10^{-2}	1	10^2	$1,55.10^5$	$1,08.10^3$	$2,92.10^{-5}$
1 m^2	10^{-6}	10^{-4}	10^{-2}	1	$1,55.10^3$	10,8	$2,92.10^{-7}$
1 insơ bình phương	$6,45.10^{-10}$	$6,45.10^{-8}$	$6,45.10^{-6}$	$6,45.10^{-4}$	1	$6,94.10^{-3}$	$1,88.10^{-10}$
1 fut bình phương	$9,29.10^{-8}$	$9,29.10^{-6}$	$9,29.10^{-4}$	$9,29.10^{-2}$	144	1	$2,71.10^{-8}$
1 hải lý bình phương	3,43	$3,43.10^2$	$3,43.10^4$	$3,43.10^6$	$5,32.10^9$	$3,96.10^7$	1

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

www.thuvien247.net

c) Đơn vị thể tích

Đơn vị thể tích	m^3	1 (dm^3)	cm^3	$(inso)^3$	$(fut)^3$	galon Mỹ	galon Anh
1 m^3	1	10^3	10^6	6,1.10	35,3	264	220
1 l (dm^3)	10^{-3}	1	10^3	61	$3,53.10^{-2}$	0,264	0,2207
1 cm^3	10^{-6}	10^{-3}	1	$6,1.10^{-2}$	$3.53.10^{-5}$	$0,264.10^{-3}$	$0,22.10^{-3}$
1 $(inso)^3$	$1,64.10^{-5}$	$1.64.10^{-2}$	16,4	1	$5,79.10^{-4}$	$4,34.10^{-3}$	$3.61.10^{-3}$
1 $(fut)^3$	$2,83.10^{-2}$	28,3	$2,83.10^4$	$1,73.10^3$	1	7,46	6,23
1 galon Mỹ	$3,785.10^{-3}$	3,785	$3,785.10^3$	231	$1,339.10^{-3}$	1	0,833
1 galon Anh	$4,544.10^{-3}$	4,544	$4,544.10^3$	277	0,1603	1,200	1

d) Đơn vị góc phẳng

Đơn vị góc	Rad	Độ	Phút	Giây	Vòng	Phần của góc vuông
1 rad	1	57,3	$3,44.10^3$	$2,06.10^5$	0,159	0,637
1^0	$1,75.10^{-2}$	$1,67.10^{-2}$	60	$3,6.10^3$	$2,78.10^{-3}$	$1.11.10^{-2}$
1'	$2,91.10^{-4}$	$1,67.10^{-2}$	1	60	$4,63.10^{-5}$	$1,85.10^{-4}$
1"	$4,85.10^{-6}$	$2,78.10^{-4}$	$1,67.10^{-2}$	1	$7,72.10^{-7}$	$3,09.10^{-6}$
1 vòng (vòng tròn)	6,28	360	$2,16.10^4$	$1,30.10^6$	1	4
1 L (góc vuông)	1,57	90	$5,40.10^3$	$3,24.10^5$	0,25	1

e) Đơn vị tốc độ

Đơn vị tốc độ	m/s	m/ph	km/h	nút
1 m/s	1	60	3,6	1,94
1 m/phút	$1,67.10^{-2}$	1	6.10^{-2}	$3,24.10^{-2}$
1 km/h	0,278	16,7	1	0,540
1 nút	0,5148	30,9	1,853	1

1 nút = 1 hải lí Anh trong 1 giờ

g) Đơn vị lực

Đơn vị lực	N	dyn	kG	Bảng Anh (lực)
1 N	1	10^5	0,102	0,225
1 dyn	10^{-5}	1	$1,02.10^{-6}$	$0.225.10^{-5}$
1 kG	9,81	$9,81.10^5$	1	2,21
1 bảng Anh (lực)	4,45	$4,45.10^5$	0,454	1

1 N = 7,35 paundala Anh

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

h) Đơn vị khối lượng

Đơn vị khối lượng	kg	g	$kG.s^2/m$	T
1 kg	1	10^3	0,102	10^{-3}
1 g	10^{-3}	1	$1,02.10^{-4}$	10^{-6}
1 $kG.s^2/m$	9,81	$9,81.10^3$	1	$9,81.10^{-3}$
1 t	10^3	10^6	102	1

1 kg = 2,20 fun Anh

i) Đơn vị áp suất

Đơn vị áp suất	Pa	dyn/cm^2	kG/cm^2	atm (tuyệt đối)	mmHg
1 Pa (N/m^2)	1	10	$1,02.10^{-5}$	$9,87.10^{-6}$	$7,50.10^{-3}$
1 dyn/cm^2	0,1	1	$1,02.10^{-6}$	$9,87.10^{-7}$	$7,50.10^{-4}$
1 kG/cm^2 (atm)	$9,81.10^4$	$9,81.10^5$	1	0,968	$7,35.10^2$
1 atm tuyệt đối	$1,01.10^5$	$1,01.10^6$	1,03	1	$7,6.10^2$
1 mmHg	133	1330	$1,36.10^{-3}$	$1,31.10^{-3}$	1

k) Đơn vị công và năng lượng

Đơn vị công	J	erg	kG.m	calo	kcalo	kW.h
1 J	1	10^7	0,102	0,239	$2,39.10^{-4}$	$2,78.10^{-7}$
1 erg	10^{-7}	1	$1,02.10^{-8}$	$2,39.10^{-8}$	$2,39.10^{-11}$	$2,78.10^{-14}$
1 kG.m	9,81	$9,81.10^7$	1	2,34	$2,34.10^{-3}$	$2,72.10^{-6}$
1 calo	4,19	$4,19.10^7$	0,427	1	10^{-3}	$1,16.10^{-6}$
1 kilôcalo	$4,19.10^3$	$4,19.10^{10}$	427	10^3	1	$1,17.10^{-3}$
1 kW.h	$3,6.10^6$	$3,6.10^{13}$	$3,67.10^5$	$8,6.10^5$	860	1

l) Đơn vị công suất

Đơn vị công suất	W	erg/s	kW	kG.m/s	calo/s	kcalo/h	mã lực
1 W	1	10^7	10^{-3}	0,102	0,239	0,860	$1,36.10^{-3}$
1 erg/s	10^{-7}	1	10^{-10}	$1,02.10^{-8}$	$2,39.10^{-8}$	$8,60.10^{-8}$	$1,36.10^{-10}$
1 kW	10^3	10^{10}	1	$1,02.10^2$	239	860	1,36
1kG.m/s	9,81	9,81.10	$9,81.10^{-3}$	1	2,34	8,43	$1,33.10^{-2}$
1 calo/s	4,19	$4,19.10^7$	$4,19.10^{-3}$	0,427	1	3,60	$5,69.10^{-3}$
1 kcalo/h	1,16	$1,16.10^7$	$1,16.10^{-3}$	0,119	0,278	1	$1,58.10^{-3}$
1 mã lực	$7,36.10^2$	$7,36.10^9$	0,736	75	175,5	632	1

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

1.7. TỈ TRỌNG CỦA CÁC LOẠI CHẤT LỎNG δ

(δ - tỉ số giữa trọng lượng chất lỏng ở t °C và trọng lượng nước cùng thể tích ở t = 4 °C)

Bảng C

Tên chất lỏng	δ	t°C
Rượu cồn không pha nước	0,8063	0
Rượu cồn không pha nước	0,7810	30
Rượu cồn có nước (75% cồn)	0,8600	–
Xăng loại 1	0,70 - 0,72	16
Xăng loại 2	0,74 - 0,75	–
Nước	1,00	4
Nước muối	1,02 - 1,03	–
Hiđrô lỏng	0,07	–
Glixêrin khô (không nước)	1,26	0
Glixêrin có nước:		
10% glixêrin (theo trọng lượng)	1,0245	–
30% glixêrin (theo trọng lượng)	1,0771	–
Dầu gỗ	0,92	15
Mộc tinh	0,80	–
Dầu thầu dầu	0,97	–
Dầu hỏa phổ thông	0,82 - 0,83	–
Dầu mazút thường	0,89 - 0,92	–
Dầu mazút đen	0,93 - 0,94	–
Dầu hạt anh túc	0,92	15
Sữa	1,032	–
Xăng nhẹ	0,85 - 0,88	–
Xăng nặng	0,92 - 0,93	–
Xăng vừa	0,88 - 0,90	–
Thủy ngân	13,59593	0
	13,55860	15
	13,53410	25
	13,47310	50
	13,3524	100
Dầu máy	0,89 - 0,92	15
Clorua - Natri (dung dịch):		
Dung dịch bão hòa	1,21	17
5% muối theo trọng lượng	1,035	18
15% muối theo trọng lượng	1,109	18
25% muối theo trọng lượng	1,190	18
Dầu hạt bông	0,92 - 0,93	–
Ete-êtin	0,74	0

Chú thích: Để xác định γ - trọng lượng của 1m^3 chất lỏng đã cho thành N/m^3 cần nhân các con số trong bảng với 9180, lúc đó γ = 9180 δ, ví dụ với glixêrin khô γ_{gl} = 9180.1,26 = 12360 N/m^3.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

1.8. TRỌNG LƯỢNG CỦA 1m^3 CÁC VẬT RẮN

Bảng D

Tên gọi	kN	T (lực)
Than antraxit thỏi	12,8 - 17,7	1,3 - 1,8
Than antraxit rời	8,9 - 9,7	0,91 - 0,99
Giấy	6,35 - 11,3	0,70 - 1,15
Than bùn viên	10,8 - 14,1	1,10 - 1,44
Than bùn rời	7,65	0,78
Sáp ong	9,3 - 9,7	0,95 - 0,99
Sỏi khô	17,7	1,8
Sỏi ướt	19,62	2,0
Gỗ [1]		
Gỗ có lá to	10,9 - 6,48	1,11 - 0,66
Gỗ có lá hình kim	9,23 - 4,50	0,84 - 0,46
Bạch dương	9,62 - 7,16	0,98 - 0,73
Sồi	(5 - 9 - 9,35)	từ 0,6 đến 0,85
Thông	(7,85 - 8,83) - (4,9 - 5,9)	từ 0,8 đến 0,9; từ 0,5 đến 0,6
Sa mộc	8,45 - 10,6	0,86 - 1,08
Cao lanh	21,6	2,20
Cao su	9,03 - 9,43	0,92 - 0,96
Thạch anh	20,2	2,66
Băng	8,63 - 9,02	0,88 - 0,92
Gỗ nút chai	2,36	0,24
Dây cao su	12,85 - 15,7	1,31 - 1,60
Chì	111,3 - 112,0	11,22 - 11,44
Hắc ín	10,5	1,07
Bột tanca	8,93 - 9,13	0,91 - 0,93
Than củi (tùy loại gỗ)	1,18 - 4,9	0,12 - 0,50
Hổ phách	9,81 - 10,8	1,0 - 1,10

[1] Số thứ nhất ứng với trọng lượng của 1m^3 gỗ tươi, còn số thứ hai - trọng lượng của 1m^3 gỗ khô.

1.9. MẬT ĐỘ VÀ TỈ TRỌNG

Mật độ là khối lượng trong một đơn vị thể tích, bằng:

$$[\rho] = \frac{[m]}{[W]} = \frac{\text{khối lượng}}{\text{thể tích}}$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Trong hệ thống MKGS $[\rho] = kG.s^2/m^4$

Trong hệ thống SI $[\rho] = kg/m^3$

Đối với nước ở nhiệt độ 4°C:

$$[\rho] = 102 \frac{kG.s^2}{m^4} = 1000\ kg/m^3$$

Tỉ trọng δ được hiểu là một số không có độ đo và bằng tỉ số giữa trọng lượng của vật thể đã cho ở nhiệt độ t với trọng lượng của cùng một thể tích nước ở t = 4°C. Tỉ trọng δ phụ thuộc vào nhiệt độ và áp suất.

Các giá trị của tỉ trọng nước ở các nhiệt độ khác nhau (ở áp suất khí quyển)

t°C	δ	t°C	δ	t°C	δ
0	0,99987	10	0,99975	50	0,98820
4	1,00000	20	0,99826	100	0,95865

1.10. ĐỘ NÉN ÉP

Độ nén ép của chất lỏng biểu thị bằng hệ số nén ép thể tích β:

$$\beta = -\frac{1}{W}\frac{dW}{dp} \quad (m^2/kG)$$

Ở đây: W - thể tích;

dW - biến đổi thể tích;

dp - biến đổi áp suất.

Nếu dp = 0, thì dW = 0.

Trị số đảo ngược của hệ số nén ép thể tích gọi là môđun đàn hồi thể tích của chất lỏng:

$$K = \frac{1}{\beta} = -W\frac{dp}{dW}$$

Các trị số của hệ số nén ép thể tích: $\beta = 10^6\ cm^2/kG$.

Chất lỏng	Áp suất (atm)		
	1 - 500	500 - 1000	1000 - 1500
Nước	47,5	41,6	35,8
Rượu	76,9	56,5	45,8

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Đối với nước ở nhiệt độ và áp lực bình thường có thể xem :

$$\beta = 0,0000475 = \frac{1}{20000} \text{ cm}^2/\text{kG}$$

và như vậy độ giảm thể tích ΔW (m^3) khi tăng áp suất lên Δp (kG/cm^2) sẽ là:

$$\Delta W = \frac{1}{20000} W$$

hoặc là khi:

$$\beta = \frac{1}{19,62.10^8} = 5,12.10^{-8} \text{ m}^2/\text{kG}$$

$$\Delta W = 5,12.10^{-10} \Delta p.W$$

1.11. ĐỘ GIÃN NỞ NHIỆT ĐỘ

Các trị số của hệ số giãn nở nhiệt độ của nước $\alpha.10^6$

Áp suất		$\alpha.10^6$ ở nhiệt độ t°C				
atm	MPa	0 - 10	10 - 20	20 - 50	60 - 70	90 - 100
1	0,0981	14	150	422	556	719
100	9,81	43	165	422	548	–
200	19,62	72	183	426	539	–
500	49,05	149	236	429	523	661
900	88,29	229	289	437	514	661

Ở mật độ cực đại, nhiệt độ của nước sẽ giảm xuống khi áp suất tăng lên. Như ở áp suất bình thường của khí quyển (760mmHg) mật độ lớn nhất sẽ tương ứng với 4°C; ở áp suất p = 41,6atm nhiệt độ tương ứng với mật độ lớn nhất là 3,3°C; còn khi p = 144,9atm thì chỉ là t = 0,6°C.

1.12. ĐỘ NHỚT

Đặc tính của chất lỏng (và chất khí) chống lại lực cắt được gọi là tính nhớt. Tất cả các chất lỏng thực đều là chất lỏng nhớt. Tính nhớt của chất lỏng được đánh giá bằng hệ số nhớt động lực μ.

Lực tiếp tuyến xuất hiện trong chất lỏng khi có sự phân bố không đều của vận tốc trong mặt cắt của dòng chảy (hình 1.5), được xác định theo công thức:

$$F = \mu S \frac{du}{dn}$$

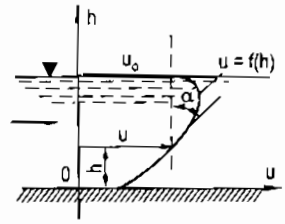
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

trong đó: F - lực tiếp tuyến xuất hiện giữa hai lớp kề nhau (tại mặt phẳng a-a) trong phạm vi diện tích S;

$\frac{du}{dn}$ - gradien vận tốc;

μ - hệ số nhớt động lực.



Hình 1.5

Ghi chú: Trên hình 1.5 biểu diễn đường cong phân bố vận tốc. Trong hệ tọa độ u và n, đường cong đó biểu diễn bằng hàm u = f(n). Gradien vận tốc $\frac{du}{dn}$ = tgα (góc α được chỉ rõ trên hình 1.5).

Trong hệ CGS (centimet - gam - giây) thứ nguyên của hệ số nhớt động lực μ sẽ là:

$$[\mu] = \left[\frac{\text{Khối lượng}}{\text{Chiều dài} \times \text{Thời gian}}\right] = \frac{g}{(cm.s)} \text{ hoặc Poazơ}$$

Trong hệ đo MKGS (mét - kilôgam lực - giây):

$$[\mu] = \left[\frac{FT}{L^2}\right] = kG.s/m^2$$

Còn trong hệ đo SI (mét - niutơn - giây):

$$[\mu] = \left[\frac{FT}{L^2}\right] = N.s/m^2 \text{ hay } Pa.s$$

Hệ số nhớt động học ν là tỉ số :

$$[\nu] = \frac{[\mu]}{[\rho]} = \frac{\text{Hệ số nhớt động lực}}{\text{Mật độ}}$$

Trong hệ đo CGS: $[\nu] = \frac{[\mu]}{[\rho]} = \frac{g.cm^{-1}.s^{-1}}{g.cm^{-3}} = cm^2/s = \text{stôc}$

Trong hệ đo SI thì $[\nu] = m^2/s$.

Trong hệ đo MKGS thì $[\nu] = m^2/s$.

Các giá trị hệ số nhớt động học của nước

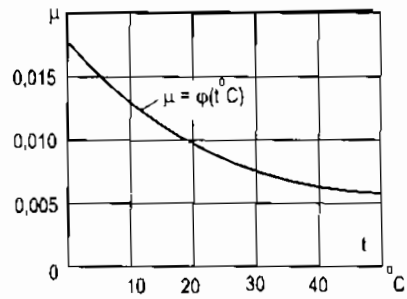
t (°C)	$\nu.10^{-6}$ (m^2/s)	t (°C)	$\nu.10^{-6}$ (m^2/s)
0	1,78	20	1,01
5	1,52	30	0,81
10	1,31	40	0,66
12	1,24	50	0,55
15	1,14		

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Hệ số nhớt động lực phụ thuộc vào nhiệt độ và đối với nước ở hệ CGS sẽ bằng (hình 1.6):

$$\mu = \frac{0,0178\rho}{1+0,0337t+0,000221t^2}.$$



Hình 1.6: *Đồ thị để xác định hệ số nhớt động lực của nước* $\mu = \varphi(t^oC)$

Thí dụ: Đối với nước ở nhiệt độ 10°C

$$\mu = 0,01134\ g/(cm.s) = \frac{0,0131}{98,1} =$$

$$= 0,000134\ kG.s/m^2 =$$

$$= 0,00134\ N.s/m^2 = 0,00134 Pa.s$$

$$\nu = 0,0131\ cm^2/s = 0,00000131\ m^2/s$$

Độ nhớt của Hêli ở nhiệt độ gần với "độ không tuyệt đối" sẽ nhỏ hơn độ nhớt của nước hàng ngàn lần.

Độ nhớt của nước mặt rất lớn. Theo số liệu của N. N. Pavlôpxki nó gấp khoảng 60000 lần độ nhớt của nước.

Hệ số nhớt động lực của không khí (cũng như đối với các chất khí thực) trong phạm vi thay đổi lớn của áp suất có thể xem như không phụ thuộc vào áp suất và chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ. Hệ số nhớt động lực của không khí có thể tính theo công thức:

$$\mu = 17,0\sqrt{1+0,003665t}\,(1+0,0008t)^2 10^{-6} \qquad N.s/m^2$$

trong đó: t - nhiệt độ (°C).

Để tính gần đúng, có thể sử dụng công thức:

$$\mu = \mu_o \left(\frac{t+273}{273}\right)^{3/4} \qquad N.s/m^2$$

trong đó: μ_o - hệ số nhớt động lực, ở t = 0°C;

$\mu = 17.10^{-6}\ N/s/m^2$.

Hệ số nhớt động học của không khí khi trọng lượng thể tích $\gamma = 12,3\ N/m^3$ và do đó mật độ

$$\rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{12,3}{9,81} = 1,25\ kg/m^3$$

sẽ bằng: $\nu = 0,0000016\ m^2/s = 0,016\ cm^2/s$

Như vậy: $\mu_{kh.khí} < \mu_{nước}$, nhưng $\nu_{kh.khí} > \nu_{nước}$.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Chương 2

ÁP LỰC THỦY TĨNH

2.1. ÁP SUẤT THỦY TĨNH TẠI MỘT ĐIỂM VÀ CÁCH ĐO

Các phương trình cơ bản của thủy tĩnh học:

$$z + \frac{p}{\gamma} = z_o + \frac{p_o}{\gamma} = \cdots = H = \text{const} \qquad (2\text{-}1)$$

hoặc:
$$p = p_o + \gamma(z_o - z) = p_o + \gamma h \qquad (2\text{-}2)$$

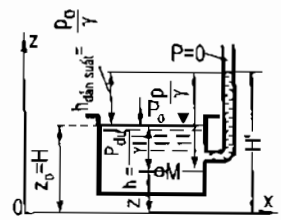
trong đó:

p và p_o - áp suất thủy tĩnh tại điểm đã định và ở mặt thoáng (áp suất của môi trường bên ngoài) (hình 2.1);

z và z_o - tọa độ tương ứng của các điểm đó, tức là độ cao trên mặt chuẩn (x_o);

γ - trọng lượng thể tích của chất lỏng, tức là trọng lượng của một đơn vị thể tích chất lỏng, (kG/m^3);

h - độ sâu của điểm đã định kể từ mặt thoáng (mặt phẳng ứng với áp suất p_o);



Hình 2.1

H - tọa độ của mặt phẳng cột nước thủy tĩnh;

p/γ - chiều cao ứng với áp suất tại điểm M đã định (m);

$p_o/\gamma = h_{dx}$ - chiều cao ứng với áp suất của môi trường bên ngoài; đặc biệt nếu $p_o = p_{atm}$ thì đại lượng p_{atm}/γ là "chiều cao dẫn xuất" của áp suất không khí.

Áp suất thủy tĩnh được đo bằng ứng suất (ví dụ bằng kG/m^2, N/m^2 v.v...) hoặc bằng chiều cao của cột chất lỏng (ví dụ bằng mét cột nước hoặc bằng milimet cột thủy ngân v.v...) hoặc bằng atmôphe kĩ thuật.

Áp suất thủy tĩnh toàn phần (tuyệt đối) tại điểm đã định bằng:

$$p = p_o + \gamma h \qquad (2\text{-}3)$$

Áp suất dư:
$$p_{du} = \gamma h = p - p_o \text{ hoặc } h_{du} = \frac{p}{\gamma} - \frac{p_o}{\gamma} \qquad (2\text{-}4)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Như vậy, áp suất thủy tĩnh toàn phần là ứng suất nén thực của chất lỏng ở điểm đã định và bằng tổng $p_{mặt\ thoáng} + \gamma h$, còn áp suất dư là độ chênh giữa áp suất toàn phần và áp suất không khí.

Áp suất toàn phần luôn luôn là số dương: $p \geq 0$ và $p/\gamma \geq 0$.

Áp suất dư có thể là âm hoặc dương, tức là: $p_{dư} \leq 0$ hoặc $p_{dư} \geq 0$

Áp suất chân không hoặc gọi tắt là chân không là độ hụt áp suất so với 1 atmôphe, tức là độ chênh giữa áp suất không khí với áp suất toàn phần.

$$p_{ck} = p_{atm} - p$$

hay là:
$$h_{ck} = \frac{p_{atm} - p}{\gamma} \qquad (2\text{-}5)$$

Như vậy, áp suất chân không là áp suất dư âm:

$$p_{ck} = -p_{dư} \text{ hoặc } h_{ck} = -\frac{p_{dư}}{\gamma}$$

Trị số áp suất chân không lớn nhất bằng áp suất không khí chia cho γ:

$$h_{ck\,max} = \frac{p_{atm}}{\gamma}$$

tức là phụ thuộc vào trị số áp suất phong vũ biểu.

Dưới áp suất không khí "bình thường" (760mm cột thủy ngân) trị số chân không lớn nhất bằng h_{ck} = 10,33m cột nước, trong tính toán kỹ thuật thông thường lấy h_{ckmax} = 10,0 cột nước, tức áp suất chân không lớn nhất bằng áp suất có giá trị bằng 1 atmôphe kĩ thuật.

Các trị số áp suất khí quyển ở độ cao khác nhau so với mặt biển xem ở bảng 2.1.

Bảng 2.1. Áp suất không khí trên các độ cao khác nhau

Độ cao so với mặt biển H (m)	0	100	200	250	300	500	600	700	800	1000	1200	1500	2000
Áp suất không khí (m cột nước)	10,33	10,2	10,1	10,0	9,9	9,7	9,6	9.5	9,4	9,2	8,9	8,6	8,1

Ghi chú: Các trị số áp suất không khí ở các độ cao khác nhau trong bảng lấy theo atmôphe tiêu chuẩn quốc tế.

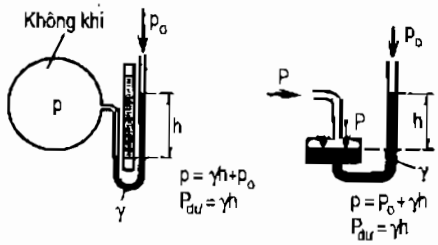
Trong atmôphe tiêu chuẩn quốc tế lấy mặt biển làm mặt phẳng xuất phát (z = 0). Ở cao trình đó đã quy ước trọng lượng thể tích không khí γ = 1,225 kG/m^3 = 12 N/m^3 (mật độ không khí ρ = 0,125 kG.s^2/m^4).

https://tieulun.hopto.org

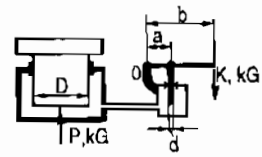
www.thuvien247.net

2.2. SƠ ĐỒ ỐNG ĐO ÁP (ÁP KẾ CHẤT LỎNG), MÁY ÉP THỦY LỰC VÀ XILANH

Dưới đây giới thiệu sơ đồ ống đo áp, máy ép thủy lực và xilanh thủy lực. Nguyên lí tác dụng của chúng chỉ rõ trên hình 2.2 ÷ 2.4.



Hình 2.2: Áp kế thủy ngân thông dụng



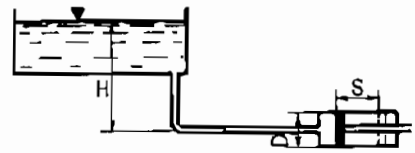
Hình 2.3: Máy ép thủy lực (sơ đồ)

Lực do máy ép tạo nên:

$$P = \eta K \frac{b}{a}\left(\frac{D}{a}\right)^2$$

trong đó: K - lực đặt vào tay cầm;

η - hiệu suất, ước chừng 0,85.



Hình 2.4: Xilanh thủy lực (sơ đồ)

Công suất do động cơ xilanh thủy lực tạo nên bằng:

$$N = \eta WH\gamma \frac{n}{2}\frac{1}{60} = 0,082\eta WHn\ ,\quad kW$$

trong đó: η - hiệu suất, khoảng 0,7 ÷ 0,8;

W - dung tích công tác của xilanh (m^3);

n - số lần chuyển động khứ hồi trong một phút;

H - cột nước (m);

γ - trọng lượng riêng của chất lỏng (kG/m^3).

2.3. ÁP LỰC CỦA CHẤT LỎNG LÊN MỘT MẶT PHẲNG

Áp lực của chất lỏng lên mặt phẳng bằng lực P (hình 2.5):

$$P = \gamma h_c \omega = p_c \omega \qquad (2\text{-}6)$$

trong đó: h_c - độ sâu chìm ngập của trọng tâm diện tích;

ω - diện tích của hình phẳng mà lực P tác dụng;

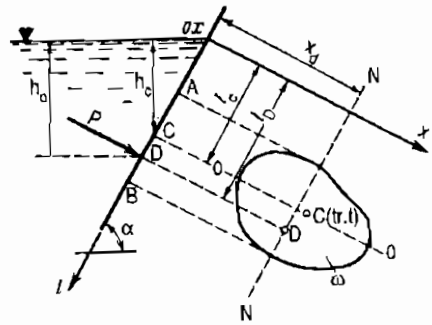
p_c - áp suất thủy tĩnh tại trọng tâm của diện tích.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Điểm đặt của lực P (điểm D ở hình 2.5) gọi là tâm áp lực. Vị trí của điểm D được xác định bằng các tọa độ:

$$\left.\begin{aligned} l_D &= l_c + \frac{J_\omega}{\omega l_c} \\ x_D &= \frac{\int l x d\omega}{l_c \omega} \end{aligned}\right\} \qquad (2\text{-}7)$$



Hình 2.5

Đối với tường thẳng đứng $\alpha = 90^o$, ta có $l_D = h_D$:

$$h_D = h_c + \frac{J_\omega}{h_c \omega} \qquad (2\text{-}7a)$$

trong đó: J_ω - mômen quán tính của tiết diện ω đối với trục 0 - 0, tức là trục nằm ngang nằm trong mặt của hình phẳng và đi qua trọng tâm của hình đó.

Nếu ω có hình dạng đều đặn và có trục đối xứng là đường N - N, thì tâm áp lực nằm trên trục đó và chỉ cần xác định một tọa độ l_D.

Ghi chú: Nếu trên mặt thoáng, môi trường bên ngoài có áp suất p_o, thì áp lực toàn phần tác dụng lên hình phẳng có kể đến áp lực của môi trường bên ngoài (truyền đến qua chất lỏng) sẽ bằng:

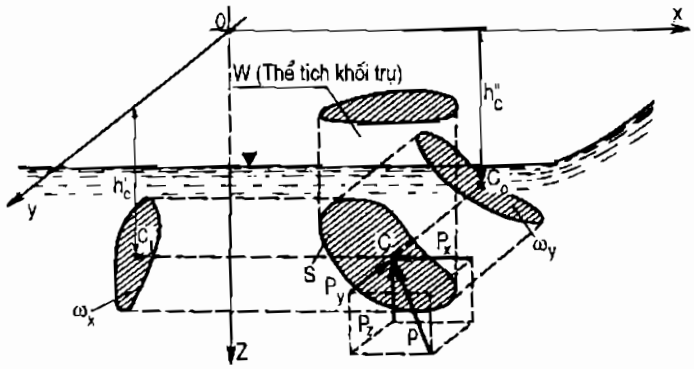
$$P' = P + p_o \omega \qquad (2\text{-}8)$$

2.4. ÁP LỰC CỦA CHẤT LỎNG LÊN MẶT CONG

a) Áp lực lên mặt cong bằng lực P (hình 2.6):

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2} \qquad (2\text{-}9)$$

trong đó: P_x, P_y và P_z - hình chiếu của lực P lên các trục tọa độ Ox, Oy và Oz.



Hình 2.6

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Nếu trục Oz lấy thẳng đứng, thì các hình chiếu của lực P lên các trục tọa độ sẽ là:

$$\left.\begin{aligned} P_x &= \gamma h'_c \omega_x \\ P_y &= \gamma h''_c \omega_y \\ P_z &= \gamma W \end{aligned}\right\} \qquad (2\text{-}10)$$

trong đó:

ω_x, ω_y - diện tích các hình chiếu của mặt cong S lên các mặt phẳng trực giao với Ox và Oy;

h'_c và h''_c - độ sâu ngập chìm của trọng tâm các diện tích ω_x và ω_y;

W - thể tích của cột trụ thẳng đứng có đáy là mặt cong S và giới hạn bên trên bởi mặt thoáng tự do;

γ - trọng lượng riêng của chất lỏng.

b) Áp lực lên mặt cong hình trụ

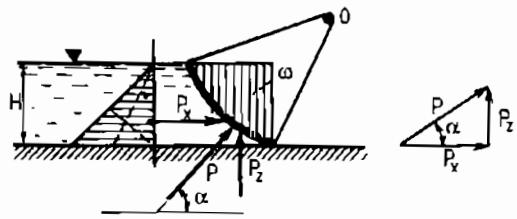
Nếu chiều dài của mặt trụ (giả thử nó thẳng góc với hình vẽ ở hình 2.7) là b, thì thành phần nằm ngang của áp lực chất lỏng lên mặt cong đó sẽ bằng:

$$P_x = \gamma b \frac{H^2}{2}$$

còn thành phần đứng:

$$P_z = \gamma b \omega$$

trong đó: ω - diện tích trên hình 2.7 (diện tích có đường gạch nhỏ thẳng đứng).



Hình 2.7

Hợp lực của P_x và P_z bằng:

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2} \qquad (2\text{-}11)$$

Phương của lực P xác định bởi góc α (hình 2.7):

$$tg\alpha = \frac{P_y}{P_x}$$

c) Phương pháp đồ giải xác định lực P

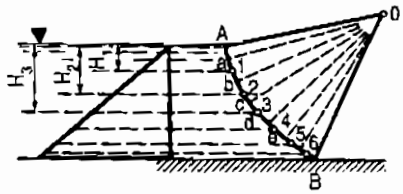
Phương pháp này chủ yếu dựa vào việc vẽ đường tích phân áp lực[1]. Hãy chia đường AB (hình 2.8) ra thành các phần nhỏ (A,1); (1,2); (2,3); (3,4) v.v... (có thể

[1] Đường tích phân áp lực được dùng để giải nhiều loại bài toán khác nhau, ví dụ để xác định vị trí của các dầm chịu tải trọng phân bố đều ở các cửa cống hình cung hoặc hình quạt.

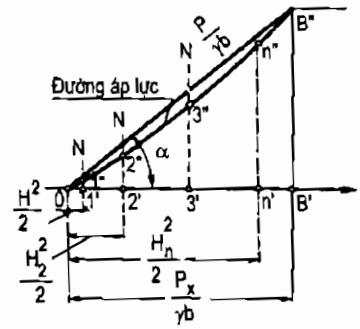
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

không bằng nhau) và theo hình vẽ ta đo các độ sâu H_1, H_2, H_3... ứng với các điểm 1, 2, 3... (ở đây ta tính cho 1m dài của mặt cong b).



Hình 2.8



Hình 2.9

Sau đó từ một điểm nào đó trên trục hoành Ox (hình 2.9) ta đặt các đoạn:

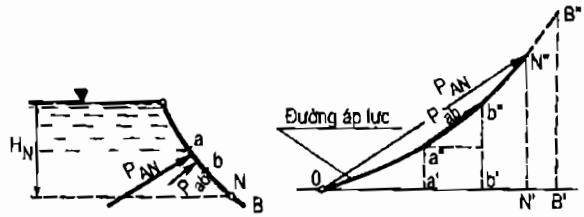
$$(01') = \frac{H_1^2}{2};\ (02') = \frac{H_2^2}{2};\ ...;\ (0n') = \frac{H_n^2}{2}$$

rồi từ điểm cuối của các đoạn đó ta dựng các đường thẳng đứng (1'N); (2'N); (3'N); ...; (n'N). Tiếp đó lần lượt vẽ các đường thẳng (01"); (1"2"); (2"3")... song song với các tia (a0); (b0); (c0); (d0)... (hình 2.8), vạch từ các điểm a, b, c, d, e... tức là từ trung điểm của các đoạn thuộc AB. Đường cong đều (0,1", 2", 3", ... n", ..., B") được gọi là "đường tích phân áp lực". Với đường khép kín (0B"), theo tỉ lệ của hình vẽ, ta định được lực P, còn các đoạn (0B") và (B'B") sẽ lần lượt bằng:

$$\frac{P_x}{\gamma b} \text{ và } \frac{P_z}{\gamma b}$$

d) Các tính chất cơ bản của đường "tích phân áp lực"

1. Dây cung bất kì (a"b") của đường tích phân áp lực OB" (hình 2.10) sẽ xác định trị số và phương của áp lực P_{AN} lên đoạn (ab) tương ứng của mặt trụ AB.



Hình 2.10

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

2. Dây cung bất kì ON" vẽ từ điểm 0 (điểm gốc của "đường tích phân áp lực") sẽ xác định trị số, phương và chiều của áp lực P_{AN} tác dụng lên mặt trụ trong phạm vi từ mặt thoáng (điểm A) đến điểm N tương ứng (hình 2.10).

Ghi chú: Điểm N trong trường hợp này nằm ở độ sâu $H_N = \sqrt{2(0N')}$.

2.5. ÁP LỰC THỦY TĨNH LÊN CỬA VAN CÔNG TRÌNH THỦY LỢI

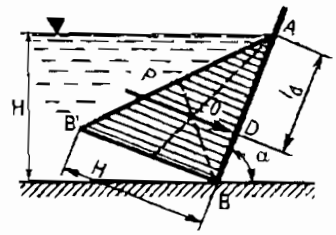
1. Cửa cống phẳng nằm nghiêng (hoặc tường chắn nước) (hình 2.11)

Biểu đồ áp suất là ΔABB'.

Áp lực toàn phần lên cửa cống:

$$P = \gamma b \frac{H^2}{2\sin\alpha}$$

trong đó: b - chiều rộng cửa cống (hoặc chiều dài của tường).



Hình 2.11

Tọa độ của tâm áp lực (hình 2.11):

$$l_d = \frac{2H}{3\sin\alpha}$$

2. Cửa cống phẳng thẳng đứng (hoặc tường chắn nước) (hình 2.12)

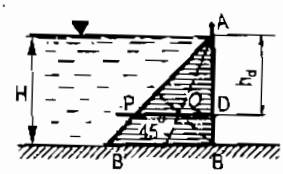
Biểu đồ áp suất là ΔABB'.

Áp lực toàn phần:

$$P = \gamma b \frac{H^2}{2}$$

Tọa độ tâm áp lực:

$$h_d = \frac{2}{3}H$$



Hình 2.12

3. Cửa cống tháo nước phẳng thẳng đứng (hình 2.13)

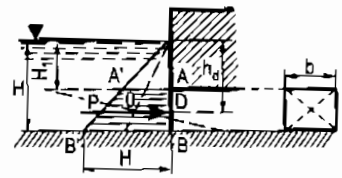
Biểu đồ áp suất là hình thang AA'B'B.

Áp lực toàn phần:

$$P = \gamma b \frac{H^2 - H_1^2}{2}$$

Tọa độ tâm áp lực:

$$h_d = \frac{2}{3}\left(H_1 + \frac{H^2}{H + H_1}\right)$$



Hình 2.13

https://tieulun.hopto.org

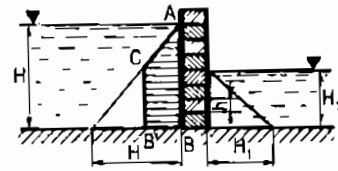
www.thuvien247.net

4. Áp lực lên các phai chắn nước (hình 2.14)

Biểu đồ áp suất - ACB'B.

Những phai đặt thấp hơn mức nước hạ lưu đều chịu một tải trọng bằng:

$$P = \gamma bh(H - H_1)$$



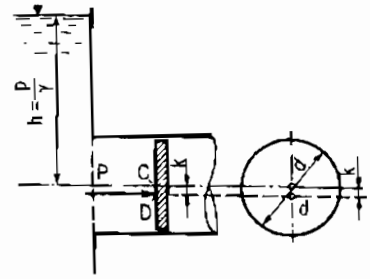
Hình 2.14

5. Cửa van phẳng của ống xả nước hình trụ (hoặc ống dẫn nước có áp) (hình 2.15)

$$P = p\frac{\pi D^2}{4} = \gamma h\frac{\pi D^2}{4}$$

Vị trí của tâm áp lực xác định theo khoảng cách k giữa tâm áp lực D và trọng tâm C của mặt tròn (bảng 2.2).

$$k = \frac{J_o}{h\omega} = \frac{D^2}{16h}$$



Hình 2.15

Bảng 2.2. Trị số k (m) (khoảng cách giữa tâm áp lực và trọng tâm) của các ống theo cột nước h và đường kính d khác nhau

d (m)	h (m)					
	1,0	2,0	3,0	5,0	10	30
0,5	0,016	0,008	0,005	0,003	0,002	
1,0	0,062	0,031	0,021	0,012	0,006	0,002
1,5	–	0,070	0,047	0,028	0,014	0,005
2,0	–	0,125	0,083	0,050	0,025	0,008
2,5	–	–	0,130	0,078	0,039	0,013
3,0	–	–	0,177	0,112	0,056	0,018

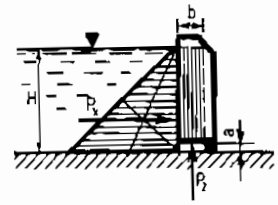
6. Cửa van phẳng có hình dạng phức tạp

Cửa van theo hình 2.16.

Áp lực ngang (trên một m dài):

$$P_x = \gamma\frac{H^2}{2}$$

Áp lực đứng: $P_z = \gamma b(H - a)$



Hình 2.16

https://tieulun.hopto.org

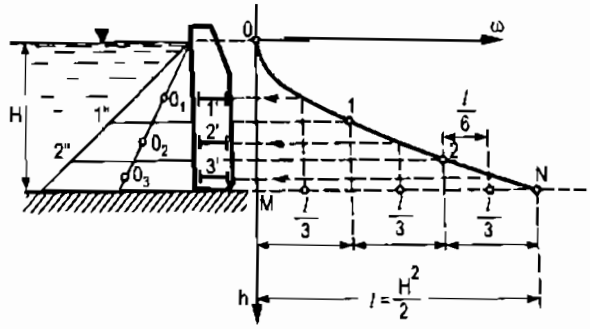
www.thuvien247.net

Áp lực toàn phần mà cửa van phải chịu:

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2}$$

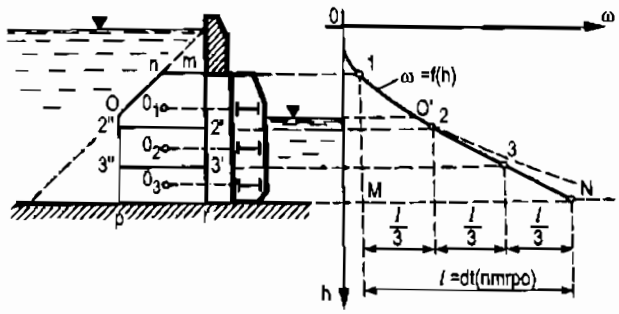
Bố trí dầm ngang của cửa van phẳng. Theo điều kiện các dầm chịu tải trọng đồng đều và không có mômen xoắn, ta chia biểu đồ áp suất ra làm các phần bằng nhau. Trọng tâm của các phần này sẽ xác định vị trí của dầm.

Đồ giải sẽ tiến hành như sau (hình 2.17). Trên hệ tọa độ ω và h ta vẽ đường cong ω = f(h) biểu thị sự phụ thuộc của diện tích biểu đồ áp suất ω vào chiều cao h của các biểu đồ ấy (đường tích phân). Với hình tam giác như trên hình 2.17, có $\omega = H^2/2$. Sau đó chia đều đoạn MN có chiều dài *l* cho số dầm đã cho là n, tức là thành các phần có chiều dài *l*/n (trên hình 2.17 là *l*/3 tương ứng với ba dầm). Căn cứ vào các điểm 1, 2... tìm được cạnh đáy (đoạn 1'1", 2'2") tương ứng của các diện tích bằng nhau của biểu đồ áp suất. Trọng tâm của các diện tích đó (điểm 0_1, 0_2, 0_3...) sẽ xác định vị trí của các dầm.



Hình 2.17

Trên hình 2.18 ta có lời giải chung cho trường hợp tổng quát tức là khi dầm chịu tải trọng ở cả hai phía.



Hình 2.18

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

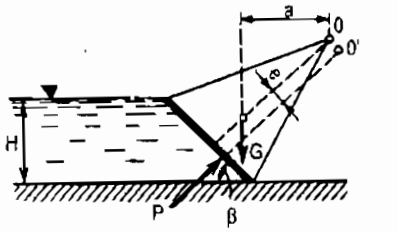
7. Cửa van hình quạt với bản che phẳng (hình 2.19)

Áp lực lên cửa van: $P = \gamma b \frac{H^2}{2\sin\beta}$

Độ lệch tâm: $e = \frac{H}{6\sin\beta}$

Mômen của lực P đối với tâm O:

$$m(P) = \gamma b \frac{H^3}{12\sin^2\beta}$$



Hình 2.19

Để khử mômen ta phải dời trục của cửa van từ O đến O'.

8. Cửa van hình trụ lăn

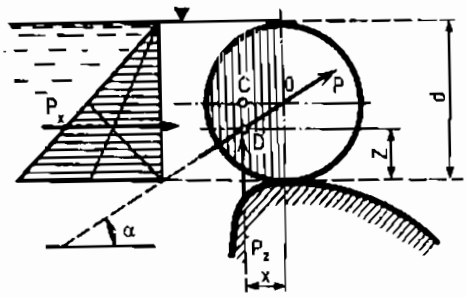
a) Khi cột nước H = d (hình 2.20)

Thành phần áp lực ngang P_x của chất lỏng lên cửa van (trên mỗi mét dài) bằng:

$$P_x = \gamma \frac{d^2}{2}$$

Thành phần áp lực đứng tương ứng sẽ là:

$$P_z = \gamma \frac{\pi d^2}{8} \approx 0,393\gamma d^2$$



Hình 2.20

Áp lực toàn phần (cũng là áp lực lên 1m rộng của cửa van)

$$P = \gamma \frac{d^2}{2}\sqrt{1+\left(\frac{\pi}{4}\right)^2} \approx 0,635\gamma d^2$$

Góc nghiêng α của lực P tạo với đường nằm ngang được xác định theo P_x/P, tức là cosα; trong trường hợp đã cho này có $\cos\alpha = 0,786$ hay $= 38^o20'$.

Ghi chú: Khi mặt phẳng chịu áp có vị trí giống như vị trí ở hình 2.20, thì góc α sẽ không phụ thuộc vào đường kính d. Tọa độ điểm đặt của lực P (áp lực toàn phần), tức là điểm D là:

$$x = 0,212d \text{ và } z = \frac{d}{3}$$

b) Khi cột nước H < d (hình 2.21)

Thành phần nằm ngang $P_x = \gamma \frac{H^2}{2}$

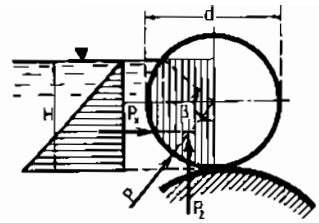
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Thành phần thẳng đứng

$$P_z = \gamma W$$

Trong đó: W - thể tích, được chỉ rõ bằng các gạch đứng ở hình 2.21.



Hình 2.21

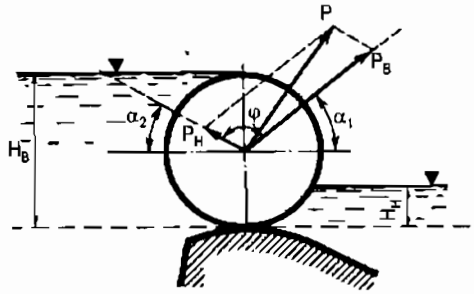
Ghi chú:

1. Áp lực từ phía hạ lưu cũng được xác định theo công thức đó;

2. Khi có áp lực ở cả hai phía (thượng lưu và hạ lưu, hình 2.22) thì áp lực toàn phần được xác định bằng tổng hai áp lực:

$$P = \sqrt{P_H^2 + P_T^2 - 2P_H P_B \cos\varphi}$$

Góc $\varphi = 180^\circ - (\alpha_1 - \alpha_2)$.



Hình 2.22

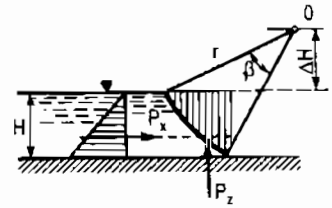
9. Cửa van hình cung

a) Theo hình 2.23

Thành phần nằm ngang

$$P_x = \gamma b \frac{H^2}{2}$$

trong đó: b - chiều rộng cửa cống.



Hình 2.23

Thành phần thẳng đứng:

$$P_z = \frac{\gamma}{2}\left[\pi r^2 \frac{\beta^\circ}{180^\circ} - \Delta H\sqrt{r^2 - \Delta H^2} - (H - \Delta H)\sqrt{r^2 - (H + \Delta H)^2}\right] b$$

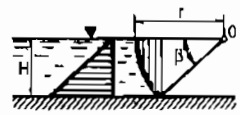
Áp lực toàn phần xác định theo công thức chung:

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2}$$

b) Khi $\Delta H = 0$ (hình 2.24)

Thành phần nằm ngang:

$$P_x = \gamma \frac{H^2}{2} b$$



Hình 2.24

Thành phần thẳng đứng:

$$P_z = \frac{\gamma}{2}\left[\pi r^2 \frac{\beta^\circ}{180^\circ} - \Delta H\sqrt{r^2 - \Delta H^2}\right] b$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Áp lực toàn phần: $P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2}$

Khi r = H, nghĩa là khi $\beta = 90^o$:

Thành phần nằm ngang: $P_x = \gamma \frac{H^2}{2} b$

Thành phần thẳng đứng:

$$P_z = \gamma \frac{\pi r^2 b}{4} = \gamma \frac{\pi H^2}{4} B = 0,785 \gamma H^2 b$$

Áp lực toàn phần trong trường hợp này sẽ là:

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2} = \gamma \frac{H^2}{2} b \sqrt{1 + \frac{\pi^2}{4}} = 0,931 \gamma H^2 b$$

Góc nghiêng của lực P với phương nằm ngang:

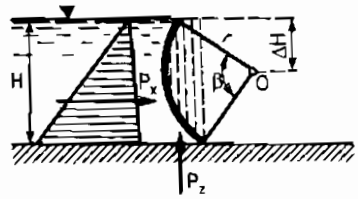
$$\sin \alpha = \frac{0,785 \gamma H^2}{0,931 \gamma H^2} = 0,843 \text{ và } \alpha = 57^{(}30'$$

c) Theo hình 2.25

Thành phần nằm ngang: $P_x = \gamma \frac{H^2}{2} b$

Thành phần thẳng đứng: $P_z = \gamma W$

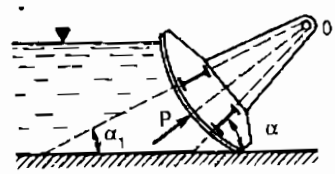
trong đó: W - thể tích được chỉ bằng gạch đứng trên hình 2.25.



Hình 2.25

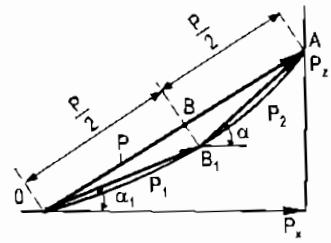
Cách xếp đặt dầm ở cửa van hình cung (hình 2.26).

Cách bố trí dầm ở cửa van hình cung cũng giống như ở cửa van phẳng, nghĩa là theo điều kiện sao cho tải trọng tác dụng lên các dầm là như nhau và không có mômen xoắn. Để giải, cần vẽ đường cong tích phân áp lực (xem mục 2.4).



Hình 2.26

Đoạn OA trên hình 2.27 xác định tổng hợp lực P của áp lực lên toàn bộ cửa van. Chia đoạn đó ra làm 2 phần (nếu có 2 dầm) và vẽ đường thẳng góc với phương của lực P, ta sẽ tìm được điểm B_1. Lúc đó các dây cung OB_1 và B_1A sẽ xác định trị số và phương của lực P_1 và P_2 ($P_1 = P_2$) là áp lực chất lỏng mà các dầm phải chịu. Vị trí của



Hình 2.27

https://tieulun.hopto.org

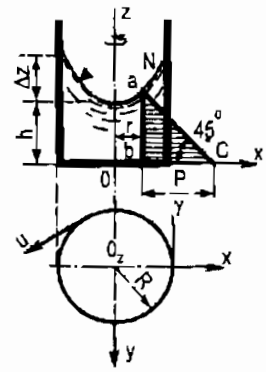
www.thuvien247.net

các dầm được xác định bằng cách: qua điểm O (trục của cửa van hình cung; hình 2.26, ta vẽ các tia với các góc α_1 và α_2 là các góc được xác định như ở hình 2.27.

Ghi chú: Nếu là 3 dầm (hoặc nhiều hơn), thì chia đường cong tích phân áp lực ra làm 3 phần (hay nhiều hơn) sao cho các dây cung đó bằng nhau.

2.6. SỰ QUAY TĨNH CỦA CHẤT LỎNG[1]

Nếu chất lỏng quay xung quanh trục đứng Oz với vận tốc góc không đổi và như nhau đối với tất cả các phần tử của nó (hình 2.28) thì:



Hình 2.28

a) Phương trình của mặt thoáng sẽ là:

$$z = h + \frac{\omega^2 r^2}{2g} = h + \frac{u^2}{2g} \qquad (2\text{-}12)$$

b) Chiều cao của parabôlôit xoay tròn sẽ bằng cột nước vận tốc của vận tốc vòng của vách hình trụ:

$$\Delta z = \frac{\omega^2 R^2}{2g} = \frac{u^2}{2g} \qquad (2\text{-}13)$$

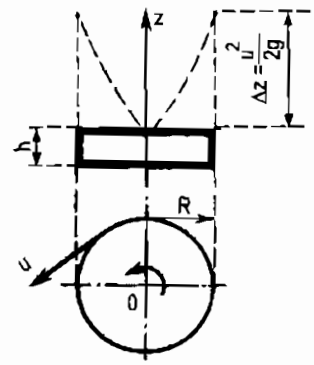
c) Áp lực lên đáy:

$$P = \gamma \pi R^2 \left(h + \frac{\Delta z}{2} \right) \qquad (2\text{-}14)$$

tức là bằng trọng lượng của khối chất lỏng chứa trong hình trụ.

d) Áp suất theo đường thẳng đứng sẽ biến đổi theo quy luật đường thẳng. Ví dụ, đối với đường thẳng đứng NN biểu đồ phân bố áp suất sẽ là tam giác abc và áp lực tại điểm b sẽ bằng (hình 2.28):

$$P_b = \gamma(ab) = \gamma \left(h + \frac{u^2}{2g} \right)$$



Hình 2.29

e) Nếu chất lỏng đựng trong bình hình trụ kín có chiều cao h (hình 2.29), thì áp lực lên đáy bình sẽ bằng:

$$P = \gamma \pi R^2 \left(h + \frac{\Delta z}{2} \right)$$

---

[1] Sự quay "tĩnh" của chất lỏng là sự quay của chất lỏng giống như của một vật rắn (tức là không có sự dịch chuyển phần tử này đối với phần tử khác). Sự quay này còn là một phần của nội dung "Tĩnh tương đối".

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

2.7. VẬT NỔI

Ta kí hiệu (hình 2.30):

W - thể tích chuyển nước (thể tích phần vật thể bị chìm ngập);

C - trọng tâm của vật nổi;

D - trọng tâm của thể tích phần vật thể bị ngập hoặc tâm của thể tích chuyển nước khi ở vị trí cân bằng;

D' - giống như trên nhưng ở vị trí nghiêng;

G - trọng lượng của vật thể;

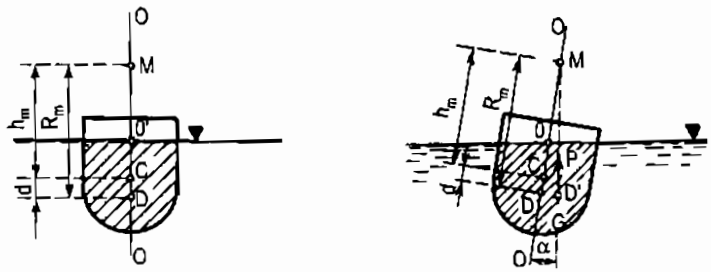
P - lực đẩy, bằng trọng lượng nước có thể tích chuyển nước W;

M - tâm định khuynh - giao điểm của trục nổi với phương tác dụng của lực đẩy P, khi nghiêng (hình 2.30); khi góc nghiêng bé điểm M giữ vị trí không đổi trên trục nổi;

α - góc nghiêng;

R_m - bán kính định khuynh (độ vượt cao của điểm M so với điểm D);

h_m - chiều cao định khuynh (khoảng cách từ điểm M tới điểm C).



Hình 2.30

Trục nổi là đường thẳng đi qua các điểm C và D.

Trục nổi ở vị trí cân bằng sẽ thẳng đứng, khi nghiêng nó hợp với đường thẳng đứng một góc α (góc nghiêng).

Đường ngập nước là giao tuyến của mặt thoáng và mặt bên của vật nổi (ở vị trí cân bằng).

Diện tích mặt nổi - diện tích của tiết diện do mặt thoáng cắt vật thể (ở vị trí cân bằng nó được giới hạn bởi đường ngập nước).

Điều kiện nổi: Vật thể sẽ nổi khi G = P. Vật thể sẽ nổi ổn định khi tâm định khuynh (điểm M) nằm cao hơn trọng tâm của vật nổi (điểm C) dọc theo trục nổi. Có thể đánh giá độ ổn định bằng giá trị của chiều cao tâm định khuynh hoặc trị số của bán kính tâm định khuynh.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bán kính định khuynh được xác định bằng công thức:

$$R_m = \frac{J_o}{W} \qquad (2\text{-}15)$$

trong đó:

J_o - mômen quán tính của diện tích mặt nổi đối với trục nằm ngang O-O hình 2.30), trục này đi qua tâm của diện tích đó;

W - thể tích chuyển nước.

Chiều cao định khuynh bằng:

$$h_m = R_m - d = \frac{J_o}{W} - d \qquad (2\text{-}16)$$

trong đó: d - độ vượt cao của điểm C so với điểm D.

Đối với thuyền vận tải (sà lan v.v...), trị số của chiều cao định khuynh thường lấy khoảng 0,5m.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Chương 3

NHỮNG KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ CHUYỂN ĐỘNG CỦA CHẤT LỎNG

3.1. LƯU LƯỢNG, VẬN TỐC TRUNG BÌNH VÀ CÁC YẾU TỐ CỦA MẶT CẮT NGANG DÒNG CHẢY

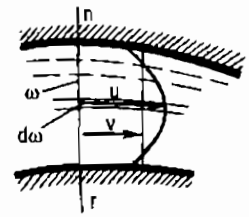
1. Phương trình lưu lượng

Đối với dòng nguyên tố:

$$dq = u d\omega \qquad (3\text{-}1)$$

Đối với dòng mà mặt cắt ngang có kích thước có hạn (đối với dòng chảy) (hình 3.1):

$$Q = \int_{\omega} u d\omega = v\omega \qquad (3\text{-}2)$$



Hình 3.1

trong đó:

ω và v - diện tích của mặt cắt ngang và vận tốc trung bình trong mặt cắt;

u - vận tốc cục bộ (vận tốc ở một điểm đã định);

dq - lưu lượng của dòng nguyên tố.

2. Vận tốc trung bình của mặt cắt *đã cho được xác định theo công thức:*

$$v = Q/\omega \qquad (3\text{-}3)$$

Nếu dọc theo đòng chảy mà có Q = const, thì đối với những mặt cắt trung gian chúng ta có:

$$Q = \omega_1 v_1 = \omega_2 v_2 = \ldots = \omega v = \text{const} \qquad (3\text{-}4)$$

hoặc có thể viết: $\frac{v_2}{v_1} = \frac{\omega_1}{\omega_2}$

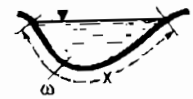
tức là vận tốc trung bình tỉ lệ nghịch với diện tích các mặt cắt tương ứng.

3. Các yếu tố thủy lực của dòng chảy *(hình 3.2) - (hình 3.4):*

ω - mặt cắt ngang của dòng chảy (mặt cắt ướt);

χ - chu vi ướt;

R = ω/χ - bán kính thủy lực.



Hình 3.2

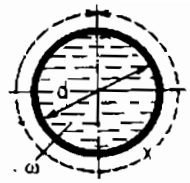
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

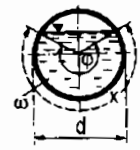
• *Đối với mặt cắt ống tròn:*

a) Nếu ống đầy nước (chảy có áp) (hình 3.3), thì bán kính thủy lực bằng:

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{\frac{\pi d^2}{4}}{\pi d} = \frac{d}{4}$$



Hình 3.3



Hình 3.4

b) Nếu chỉ chứa một phần (hình 3.4, bảng 3.1), thì diện tích mặt cắt ngang:

$$\omega = \frac{1}{8}(\varphi - \sin\varphi)d^2$$

Bảng 3.1.

Các giá trị tương đối của chiều sâu đầy nước h, diện tích mặt cắt ướt ω, khoảng cách y_c, tính từ mặt thoáng đến trọng tâm mặt cắt ướt, chiều rộng mặt thoáng B ứng với các góc φ khác nhau của ống dẫn nước có mặt cắt tròn chứa một phần nước

Góc tại tâm φ (độ)	Chiều sâu đầy nước h/r	Diện tích mặt cắt ướt ω/r^2	Khoảng cách từ trọng tâm y_c/r	Chiều rộng mặt thoáng B/r
1	*2*	*3*	*4*	*5*
360	2,000	3,14	1,000	0
355	1,999	3,14	0,999	0,087
350	1,996	3,14	0,996	0,174
340	1,984	3,14	0,985	0,347
330	1,966	3,13	0,970	0,518
320	1,940	3,11	0,949	0,684
310	1,906	3,09	0,922	0,845
300	1,864	3,05	0,891	1,000
290	1,819	3,00	0,861	1,147
280	1,766	2,94	0,826	1,286
270	1,707	2,86	0,790	1,414
260	1,643	2,76	0,752	1,532
250	1,574	2,65	0,712	1,638
240	1,500	2,53	0,671	1,732
230	1,423	2,39	0,631	1,813
220	1,342	2,24	0,590	1,879
210	1,259	2,08	0,548	1,932
200	1,174	1,916	0,512	1,970

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

1	2	3	4	5
190	1,087	1,745	0,465	1,992
180	1,000	1,571	0,425	2,000
170	0,913	1,397	0,385	1,992
160	0,826	1,225	0,354	1,970
150	0,741	1,059	0,307	1,932
140	0,658	0,900	0,272	1,879
130	0,577	0,751	0,237	1,813
120	0,500	0,614	0,206	1,732
110	0,426	0,490	0,174	1,638
100	0,357	0,380	0,147	1,532
90	0,293	0,285	0,125	1,414
80	0,234	0,206	0,094	1,286
70	0,1808	0,1410	0,073	1,147
60	0,1340	0,0906	0,054	1,000
50	0,0937	0,0533	0,0377	0,845
40	0,0603	0,0477	0,0243	0,684
30	0,0341	0,01180	0,0171	0,518
20	0,0152	0,00352	0,0142	0,347

Chu vi ướt:

$$\lambda = \frac{1}{2}\varphi d$$

Bán kính thủy lực:

$$R = \frac{1}{4}\left(1 - \frac{\sin\varphi}{\varphi}\right)d$$

trong đó: φ - góc tại tâm (radian).

Thí dụ 1. Cho r = 1,5m. Xác định độ sâu chứa nước và diện tích mặt cắt ướt ứng với góc tại tâm $\varphi = 250^o$.

Giải: Chiều sâu chứa nước h = 1,574, r = 1,574.1,5 = 2,36m. Diện tích mặt cắt ướt $\omega = 2,65.1,5^2 = 5,95m^2$.

Thí dụ 2. Cho r = 1,1m; chiều sâu chứa nước h = 0,91m. Xác định diện tích mặt cắt ướt.

Giải: Độ sâu chứa nước tương đối h/r = 0,91/1,1 = 0,83. Diện tích mặt cắt ướt $\omega = 1,225.1,1^2 = 1,48m^2$.

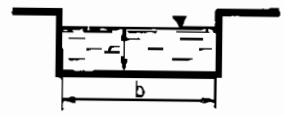
• *Đối với mặt cắt chữ nhật của kênh hở*

Nếu độ sâu chứa nước trong kênh là h (hình 3.5), thì bán kính thủy lực bằng:

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{bh}{b+2h}$$



Hình 3.5

Đối với dòng chảy rất rộng b >> h thì bán kính thủy lực lấy bằng chiều sâu:

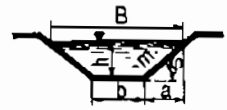
$$R \approx h$$

Đối với dòng chảy rất sâu và hẹp (khi h >>b), bán kính thủy lực sẽ là:

$$R = b/2$$

• *Đối với kênh hở có mặt cắt hình thang*

Nếu độ sâu chứa nước là h (hình 3.6) thì diện tích mặt cắt ngang:



Hình 3.6

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

trong đó: m = a/h = cotgφ - hệ số mái dốc.

Chu vi ướt: $\chi = b + 2h\sqrt{1+m^2}$

Bán kính thủy lực: $R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{(b+mh)h}{b+2h\sqrt{1+m^2}}$

Nếu gọi β = b/h, thì: $R = \frac{\beta+m}{b+2\sqrt{1+m^2}}h$

Đối với mặt cắt lợi nhất về thủy lực thì:

$$R = h/2$$

Đối với mặt cắt hình thang rất rộng (b >> h), bán kính thủy lực lấy bằng độ sâu (giống như đối với mặt cắt chữ nhật):

$$R \approx h$$

3.2. NHỮNG DẠNG CHUYỂN ĐỘNG CƠ BẢN CỦA CHẤT LỎNG

Những dạng chuyển động cơ bản của chất lỏng là: chuyển động ổn định và không ổn định, đều và không đều liên tục và gián đoạn. Dòng chảy có thể là có áp hoặc không có áp.

a) Chuyển động ổn định là chuyển động mà các thông số của nó không phụ thuộc vào thời gian (không thay đổi theo thời gian).

b) Chuyển động đều là chuyển động mà các vận tốc chảy tại hai điểm như nhau trên hai mặt cắt gần nhau (của dòng chảy) sẽ bằng nhau. Điều kiện này xảy ra, nếu hình dạng của kênh và tất cả các yếu tố thủy lực (chiều sâu của dòng chảy, diện tích mặt cắt ngang, vận tốc trung bình) không thay đổi dọc theo lòng dẫn.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Chuyển động đều trong các ống có thể là ổn định hoặc không, còn chuyển động đều trong lòng dẫn hở (trong các điều kiện thực tế) chỉ có thể là ổn định.

c) **Chuyển động không đều** (nhanh dần hoặc chậm dần) có thể là ổn định hoặc không

Trong chuyển động nhanh dần, trong lòng dẫn lăng trụ sẽ hình thành đường nước hạ, còn khi chậm dần - đường nước dâng. Trong trường hợp đầu, độ sâu sẽ giảm theo chiều dòng chảy ($dh/ds < 0$), còn trong trường hợp sau độ sâu sẽ tăng ($dh/ds > 0$).

d) **Chuyển động liên tục (không gián đoạn)** là chuyển động mà trong đó chất lỏng chiếm toàn bộ không gian, không tạo thành những chỗ trống (gián đoạn) trong dòng chảy.

e) **Chuyển động không áp** là chuyển động có mặt thoáng.

Ghi chú: Ngoài ra còn phân biệt chuyển động có xoáy và không xoáy và cả chuyển động tầng và rối.

f) **Chuyển động có xoáy** là chuyển động mà trong đó vectơ vận tốc góc quay của phần tử chất lỏng không bằng không ($\omega \neq 0$). Nếu vectơ này trùng với vectơ vận tốc thẳng thì chuyển động trong trường hợp riêng này gọi là chuyển động *đinh vít*. Chuyển động không có xoáy là chuyển động có thế. Trong chuyển động không xoáy tồn tại hàm của tọa độ $(x, y, z) = 0$ sao cho các đạo hàm riêng của nó theo các trục tọa độ bằng chính các thành phần của vận tốc toàn phần trên các trục tương ứng, cũng tựa như đạo hàm riêng theo các trục tọa độ của hàm lực xác định hình chiếu của gia tốc của trường lực tương ứng.

3.3. PHƯƠNG TRÌNH BECNUI CHUYỂN ĐỘNG ỔN ĐỊNH

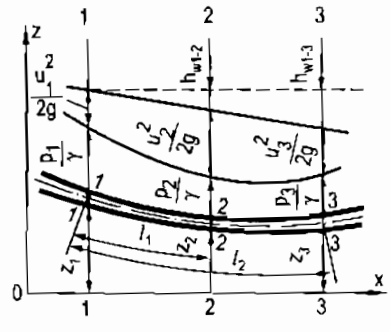
a) **Đối với dòng nguyên tố** của chất lỏng không nhớt không nén được thì phương trình có dạng:

$$z + \frac{p}{\gamma} + \frac{u^2}{2g} = H = \text{const} \qquad (3\text{-}5)$$

Cũng như thế, đối với chất lỏng thực, ở các mặt cắt 1-1, 2-2 và 3-3 (hình 3.7) có:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g} + h_{w1-2}$$

$$= z_3 + \frac{p_3}{\gamma} + \frac{u_3^2}{2g} + h_{w1-3} = \ldots = H = \text{const} \qquad (3\text{-}6)$$



Hình 3.7

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Ở đây các số hạng đều có thứ nguyên chiều dài, z - chiều cao vị trí, p/γ - độ cao áp suất[1], $u^2/2g$ - chiều cao vận tốc hoặc cột nước vận tốc và h_w - cột nước tổn thất (hình 3.7).

Về ý nghĩa năng lượng, thì mỗi số hạng của phương trình đều biểu thị tỉ năng tức là năng lượng tiềm tàng trong một đơn vị trọng lượng chất lỏng. Khi đó z - vị năng (cũng là thế năng); p/γ - áp năng (cũng là thế năng); $u^2/2g$ - động năng; h_w - năng lượng tổn thất, tức là cơ năng bị tổn thất do sức cản trên đi từ mặt cắt đầu tiên đến mặt cắt cuối cùng; h_{w1-2} - tổn thất trên đường đi từ mặt cắt 1 đến mặt cắt 2, h_{w1-3} - tổn thất trên đường đi từ mặt cắt 1 đến mặt cắt 3, (hình 3.7).

Tổng (z + p/γ) - biểu thị toàn bộ tỉ thế năng tiềm tàng mặt cắt đã cho.

Tổng $\left(z+\frac{p}{\gamma}+\frac{u^2}{2g}\right)$ là toàn bộ (chung) cơ năng đơn vị tiềm tàng E ở mặt cắt đã cho:

$$E = z+\frac{p}{\gamma}+\frac{u^2}{2g} \tag{3-7}$$

b) Đối với dòng có kích thước hữu hạn[2] ***(toàn bộ dòng chảy của chất lỏng thực) ta có:***

$$z_1+\frac{p_1}{\gamma}+\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2+\frac{p_2}{\gamma}+\frac{\alpha_2 v_2^2}{2g}+h_{w1-2} \tag{3-8}$$

hay là

$$E_1 = E_2 + h_w \tag{3-9}$$

trong đó: v_1 và v_2 - vận tốc trung bình ở mặt cắt 1-1 và mặt cắt 2-2;

α_1 và α_2 - hệ số động năng (hệ số Côriôlit), chính là số hiệu chỉnh khi tính động năng đơn vị theo vận tốc trung bình v của mặt cắt. Thường người ta lấy $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$.

Phương trình D. Becnui đối với dòng chảy áp dụng được trong các điều kiện chuyển động biến đổi dần, khi có thể không xét đến các hình chiếu của vận tốc và gia tốc lên mặt phẳng trực giao với phương dòng chảy.

Giá trị của hệ số α phụ thuộc vào sự phân bố vận tốc cục bộ của mặt cắt và được xác định theo công thức:

$$\alpha = 1+3\frac{\int_\omega \Delta u^2.d\omega}{v^2\omega}+\frac{\int_\omega \Delta u^3.d\omega}{v^3\omega} \tag{3-10}$$

---

[1] Trong trường hợp này, tức là trong điều kiện chất lỏng chuyển động, p là áp suất thủy động tại một điểm, khác với trường hợp cân bằng, khi đó p là áp suất thủy tĩnh.

[2] Có nghĩa là diện tích mặt cắt ngang có kích thước hữu hạn.

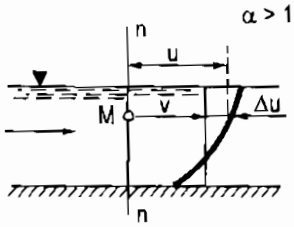
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

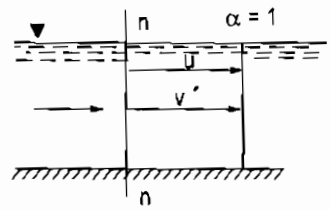
hay vì giá trị của số hạng thứ 3 nhỏ có thể bỏ qua trong điều kiện của lòng dẫn hở và đường ống, nên có thể xác định theo công thức rút gọn:

$$\alpha \cong 1 + 3\frac{\int \Delta u^2 . d\omega}{v^2 \omega} \geq 1,0 \qquad (3\text{-}10a)$$

trong đó: $\Delta u = u - v$, mà u - tốc độ ở điểm M nào đó của mặt cắt ngang (tốc độ điểm), còn $v = Q/\omega$ - tốc độ trung bình ở mặt cắt đó (hình 3.8).

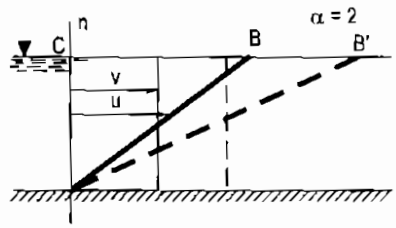


Hình 3.8



Hình 3.9

Nếu vận tốc tại tất cả các điểm của mặt cắt ngang đều bằng nhau và do đó bằng vận tốc trung bình thì ($u = v$) (hình 3.9), hệ số $\alpha = 1$. Nếu chuyển động là song phẳng và vận tốc phân bố theo đường thẳng AB hoặc AB' (hình 3.10), thì hệ số $\alpha = 2$. Nếu cũng trong trường hợp đó mà vận tốc phân bố thep parabôn ABC (hình 3.11 và 3.12) theo phương trình $u = ky^n$, thì α được xác định theo công thức:



Hình 3.10

$$\alpha \cong 1 + 3\frac{\int \Delta u^2 . d\omega}{v^2 \omega} = 1 + 3\frac{n^2}{2n+1}$$

hoặc chính xác hơn một chút:

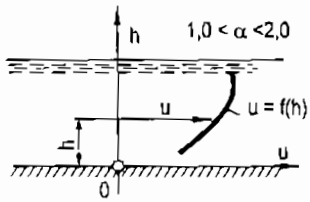
$$\alpha = 1 + 3\frac{n^2}{3n+1}\left(1 + \frac{n}{3}\right) = \frac{(n+1)^3}{3n+1}$$

Thí dụ: Với $n = 0,5$. Khi đó $\alpha' = 1 + 3\frac{n^2}{2n+1} = 1,375$. Nhưng theo công thức thứ hai $\alpha'' = \frac{(n+1)^3}{3n+1} = 1,35$, nghĩa là thực chất cũng như nhau.

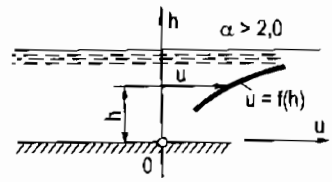
Với $n < 1$ (hình 3.11) có $\alpha < 2$; với $n > 1$ (hình 3.12) có $\alpha > 2$ (trong điều kiện bình thường không thể có sự phân bố vận tốc như trong hình vẽ 3.10 và 3.12).

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 3.11



Hình 3.12

Theo số liệu của V. N. Evreinôp, có thể lấy gần đúng:

$$\alpha = 1 + \frac{210}{C^2} \qquad (3\text{-}11)$$

trong đó: C - hệ số Sêzi trong công thức $v = C\sqrt{Ri}$ (theo hệ đo mét). Theo công thức (3.11) ta có các giá trị α đối với C khác nhau:

C	20	40	60	80
α	1,53	1,13	1,06	1,03

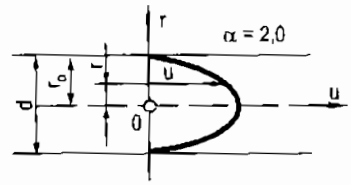
Đối với ống (hình 3.13) và vận tốc phân bố theo quy luật parabôn theo phương trình $u = \alpha(r_0^2 - y^2)$, ví dụ với chuyển động tầng, hệ số $\alpha = 2$.

A. Đ. Altsul xác định hệ số α theo công thức:

$$\alpha = 1 + 2{,}65\lambda \qquad (3\text{-}11a)$$

trong đó: λ - hệ số ma sát thủy lực trong công thức:

$$h_w = \lambda \frac{lv^2}{d2g}$$



Hình 3.13

Ghi chú: Công thức A. Đ. Altsul cũng cho kết quả như công thức V. N. Evreinôp (3-11), bởi vì $C^2 = 8g/\lambda$. Vì vậy:

$$\frac{210}{C^2} = \frac{210\lambda}{8.9,81} = 2{,}65\lambda$$

Trong thực tế, đối với dòng chảy rối thường lấy α = 1,1, còn trong các trường hợp khi $v^2/2g$ nhỏ hơn so với h_w hoặc khi tính toán với độ chính xác không lớn lắm thì lấy α = 1.

3.4. PHƯƠNG TRÌNH D. BECNUI CHO DÒNG NGUYÊN TỐ CỦA DÒNG CHẢY TRONG RÃNH QUAY

Nếu chất lỏng chảy trong rãnh quay xung quanh một trục nào đó (hình 3.14), thì phương trình Becnui (3-5) viết trong hệ trục tọa độ cố định Ox, Oy, Oz sẽ không đúng nữa.

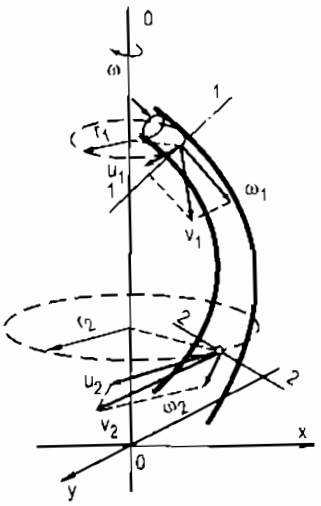
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Năng lượng đơn vị của chất lỏng chảy trong rãnh quay sẽ thay đổi theo dọc dòng chảy (tăng hoặc giảm). Chất lỏng có thể truyền năng lượng của mình cho rãnh và bắt rãnh phải quay, hoặc nhận thêm năng lượng của động cơ đang quay rãnh cùng với chất lỏng chảy trong rãnh.

Nếu vận tốc góc ω và lưu lượng Q không đổi theo thời gian, ngoài ra lưu lượng Q không đổi trên cả chiều dài của rãnh, thì đối với hệ tọa độ cố định phương trình Becnuli có thể viết như sau:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\omega_1^2}{2g} - \frac{u_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\omega_2^2}{2g} - \frac{u_2^2}{2g} + h_w \qquad (3\text{-}12)$$



Hình 3.14

hoặc nếu không xét đến sức cản (chất lỏng lí tưởng) thì:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\omega_1^2}{2g} - \frac{u_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\omega_2^2}{2g} - \frac{u_2^2}{2g}$$

Sử dụng tam giác vận tốc, mà theo đó:

$$\omega_1^2 = v_1^2 + u_1^2 - 2v_1u_1\cos\alpha_1$$

$$\omega_2^2 = v_2^2 + u_2^2 - 2v_2u_2\cos\alpha_2$$

Ở đây: ω, u, v - vận tốc tương đối, vận tốc vòng và vận tốc tuyệt đối tương ứng với mặt cắt 1-1 và 2-2;

α_1 và α_2 - góc lập bởi phương của vận tốc v và u, từ phương trình (3-12) ta sẽ có:

$$\left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g}\right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_w\right) = \frac{1}{g}(u_1v_1\cos\alpha_1 - u_2v_2\cos\alpha_2) \qquad (3\text{-}12')$$

trong đó vế trái của phương trình chính là cột nước tác dụng H, tức là $E_1 - E_2 - h_w = H$. Do đó phương trình có thể viết gọn lại thành:

$$gH = u_1v_1\cos\alpha_1 - u_2v_2\cos\alpha_2 \qquad (3\text{-}12'')$$

Rõ ràng, H là lượng năng lượng đơn vị mà chất lỏng đã chuyển cho bộ phận công tác của máy hay là lượng năng lượng mà chất lỏng tích lại được khi nhận năng lượng từ các bộ phận nói trên.

3.5. ĐƯỜNG ĐO ÁP, ĐƯỜNG NĂNG LƯỢNG, ĐỘ DỐC THỦY LỰC VÀ ĐỘ DỐC ĐO ÁP

a) Chảy ngập (đối với ống có áp)

Đường đo áp (hoặc đường cong đo áp) là đường ABCDEF trong hình 3.15.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Đường cột nước (hoặc đường năng lượng) là đường A'B'C'D'E'F' trong hình 3.15.

Độ dốc thủy lực trung bình gọi là tỉ số giữa cột nước tổn thất và chiều dài ống dẫn. Độ dốc thủy lực trung bình trên đoạn có chiều dài *l* bằng:

$$J_{tb} = \frac{h_w}{l} = \frac{\left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}\right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g}\right)}{l} \qquad (3\text{-}13)$$

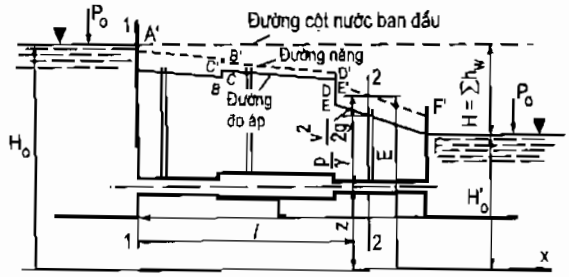
trong đó:

$z, \frac{p}{\gamma}$ và $\frac{\alpha_1 v_1}{2g}$ với chỉ số 1 là chiều cao vị trí, chiều cao áp lực và cột nước vận tốc ở mặt cắt thứ nhất (ở phía trên theo dòng chảy), còn với chỉ số 2 - là các giá trị tương ứng tại mặt cắt thứ hai (nằm phía dưới mặt cắt thứ nhất);

l - khoảng cách giữa hai mặt theo chiều dài ống dẫn nó không phụ thuộc vào độ dốc của ống so với đường nằm ngang;

α_1, α_2 - hệ số Côriôlit, thường lấy bằng nhau $\alpha_1 = \alpha_2$ (trị số của α xem trong mục 3.2);

h_w - cột nước tổn thất tổng cộng trên đoạn ống dẫn giữa hai mặt cắt đang xét.



Hình 3.15

Như ta thấy trên hình 3.15, tỉ số $H/L = \Sigma h_w/L$ là độ dốc thủy lực trung bình của toàn bộ đường dẫn nước. Độ dốc thủy lực đặc trưng cho cường độ giảm của tổng dự trữ năng lượng đơn vị dọc theo dòng chảy. Nếu trên suốt chiều dài, ống dẫn có cùng một đường kính, cùng một độ nhám và không có sức cản cục bộ thì đường năng lượng là đường thẳng, còn độ dốc thủy lực thì không đổi và bằng trị số trung bình, tức là $J = J_{tb}$. Trong trường hợp chung, độ dốc thủy lực biến đổi theo dòng chảy và tại vị trí đã định, tức tại mặt cắt đã định sẽ được xác định theo công thức:

$$J = \frac{dh_w}{dl} = -\frac{d\left(z + \frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha v^2}{2g}\right)}{dl} = -\frac{dE}{dl} \qquad (3\text{-}14)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Độ dốc thủy lực luôn luôn dương:

$$J = \frac{dh_w}{dl} = -\frac{dE}{dl} \geq 0 \qquad (3\text{-}14')$$

vì theo chiều của dòng chảy thì khi dl > 0 cột nước tổn thất luôn luôn tăng, còn năng lượng giảm. Do đó $dh_w > 0$, $dE < 0$.

Độ dốc đo áp đặc trưng cho độ thay đổi của thế năng đơn vị. Đối với đoạn đường dẫn nước từ mặt cắt 1 đến mặt cắt 2, trị số trung bình của nó được xác định theo công thức:

$$J_p = \frac{\left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma}\right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma}\right)}{l_{1\text{-}2}} = -\frac{\Delta\left(z - \frac{p}{\gamma}\right)}{l} \qquad (3\text{-}15)$$

Đối với đường dẫn nước có đường kính biến đổi đều dọc theo chiều dài, thì độ dốc đo áp ở mặt cắt đã định bằng:

$$J = -\frac{d\left(z + \frac{p}{\gamma}\right)}{dl} \qquad (3\text{-}16)$$

Độ dốc đo áp có thể âm, dương hoặc bằng không:

$$J \lesseqgtr 0$$

Khi chuyển động đều, độ dốc thủy lực bằng độ dốc đo áp:

$$J = J_p$$

Trong trường hợp này thì cột nước "tổn thất" bằng độ chênh cột nước như trong thủy tĩnh:

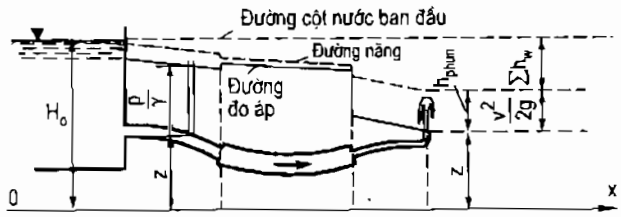
$$h_w = \left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma}\right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma}\right) \qquad (3\text{-}17)$$

b) Chảy tự do vào không khí

Trên hình 3.16 đã vẽ đường năng lượng và đường đo áp trong trường hợp chảy tự do từ ống có áp vào không khí. Trên đó h_w - tổng tất cả các tổn thất cột nước trên toàn bộ đường dẫn; $v^2/2g$ - cột nước vận tốc ở mặt cắt ra (mặt cắt cuối ống); h_{ph} - chiều cao của dòng phun (h_{ph} - nhỏ hơn $v^2/2g$ một trị số bằng trị số sức cản thủy lực khi dòng phun bay tự do).

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



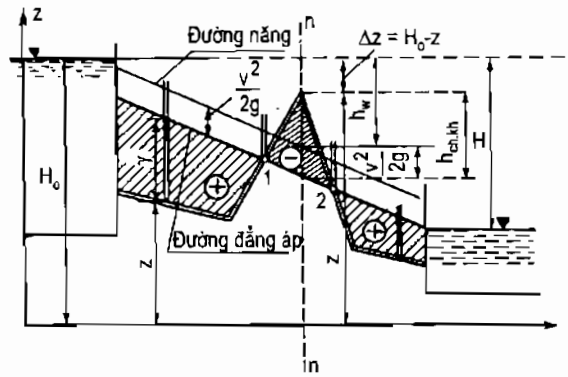
Hình 3.16

Ghi chú: Khi chảy ra không khí thì phần tổng dự trữ năng lượng bằng hiệu $H - \Sigma h_w = v^2/2g$ (hình 3.16) sẽ được bảo toàn trong dòng chảy (ở mặt cắt ra) dưới dạng động năng và có thể sử dụng được. Khi chảy ngập từ bể có dung tích vô hạn vào bể có dung tích vô hạn (hình 3.15), tất cả dự trữ năng lượng H sẽ bị tiêu hao để khắc phục sức cản thủy lực.

c) Phân bố áp suất dọc theo đường ống

Trên hình 3.17 chỉ rõ phân bố áp suất dọc theo đường ống. Trên đoạn ống từ điểm 1 đến điểm 2 có chỗ xảy ra chân không. Khu vực có áp suất dư dương được gạch chéo và đánh dấu (+), khu vực chân không cũng được gạch chéo và đánh dấu (−). Chân không cực đại xảy ra ở mặt cắt (n − n) và bằng:

$$h_{ck,max} = \left(\frac{v^2}{2g} + h_w\right) - \Delta z$$



Hình 3.17

Ghi chú: Nên đặt đường ống thấp hơn đường đo áp, nếu không trong trường hợp nối ống không chặt không khí (hoặc nước) ở bên ngoài sẽ lọt vào ống.

d) Kênh hở

Đường đo áp[1] trùng với đường mặt thoáng của nước trong kênh hở.

---

[1] Đường đo áp suất dư.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

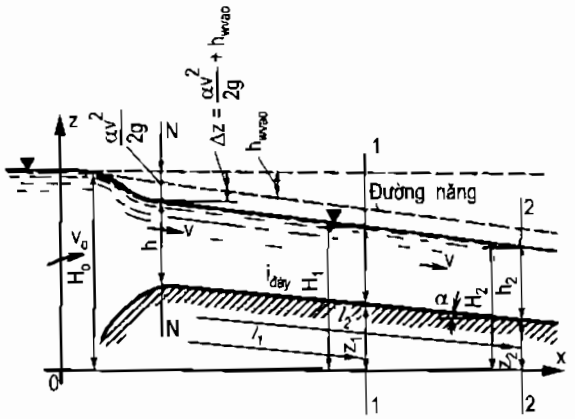
Độ dốc của mặt thoáng chính là tỉ số giữa đại lượng hạ thấp cao độ của mặt thoáng với chiều dài của đoạn kênh đã định:

$$J_{mặt} = \frac{H_1 - H_2}{l_2 - l_1} = -\frac{H_2 - H_1}{l_2 - l_1} = -\frac{\Delta H}{\Delta l} \qquad (3\text{-}18)$$

hoặc dưới dạng vi phân: $J_{mặt} = -\frac{dH}{dl}$

trong đó: H_1 và H_2 - cao độ của mặt thoáng tại mặt cắt 1-1 và 2-2;

l_1 và l_2 - khoảng cách kể từ mặt cắt ban đầu tới các tuyến ấy, tính theo đường đáy (hình 3.18).



Hình 3.18

Độ dốc đáy được xác định tương tự theo công thức:

$$i_{đáy} = \frac{z_1 - z_2}{l_2 - l_1} = -\frac{z_2 - z_1}{l_2 - l_1} = -\frac{\Delta z}{\Delta l}$$

hoặc: $$i_{đáy} = \frac{dz}{dl} \text{ hoặc } i_{đáy} = \sin\alpha$$

trong đó: α - góc nghiêng của đường đáy so với phương nằm ngang.

Trên hình 3.18 vẽ đường năng lượng của đoạn đầu của kênh khi chuyển động trong kênh là chuyển động đều.

Khi chuyển động đều, độ dốc thủy lực J bằng độ dốc đo áp, tức là bằng độ dốc mặt thoáng $J_{mặt}$ và bằng độ dốc đáy $i_{đáy}$ (hình 3.18).

$$J = J_{mặt} = i_{đáy}$$

Mặt thoáng ở tiết diện vào N - N của kênh nằm thấp hơn mặt thoáng của bể cấp nước[1] một trị số Δz bằng:

---

(1) Dung tích bể cấp nước giả thiết rất lớn và $J_o = 0$.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$\Delta z = \frac{\alpha v^2}{2g} + h_{w,vào} \qquad (3\text{-}19)$$

trong đó:

v - vận tốc ở mặt cắt N - N;

h_w, $v_{vào}$ - cột nước tổn thất ở "cửa vào".

Thường thì cột nước tổn thất h_w xác định bằng công thức $h_w = \zeta \frac{v^2}{2g}$, trong đó ζ - hệ số sức cản ở cửa vào.

Khi đó độ hạ thấp Δz ở cửa vào sẽ bằng:

$$\Delta z = \frac{\alpha v^2}{2g} + \zeta \frac{v^2}{2g} = (\alpha + \zeta)\frac{v^2}{2g} \qquad (3\text{-}19a)$$

hay, nếu cho $\alpha = 1{,}0$

$$\Delta z = (1 + \zeta)\frac{v^2}{2g}$$

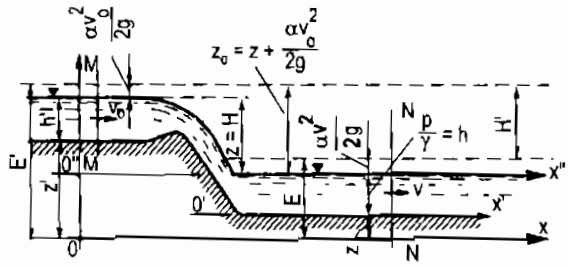
Trường hợp chảy không đều, độ dốc thủy lực và độ dốc đo áp (tức độ dốc mặt thoáng) sẽ biến đổi dọc theo dòng chảy và sẽ không bằng nhau và không bằng độ dốc đáy.

3.6. NĂNG LƯỢNG VÀ CÔNG SUẤT CỦA DÒNG CHẢY

a) Năng lượng dòng chảy ở mặt cắt N - N (hình 3.19) tính trung bình cho một đơn vị trọng lượng (thí dụ, cho 1kG hoặc 1N) và lấy đối với mặt phẳng nằm ngang Ox, được xác định theo phương trình:

$$E = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha v^2}{2g} = z + h + \frac{\alpha v^2}{2g} \qquad (3\text{-}20)$$

Tùy theo đơn vị dùng để đo trọng lượng (lực trọng trường) đại lượng E sẽ được tính bằng kilôgam mét, hoặc jul v.v...



Hình 3.19

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Năng lượng này, theo đề nghị của N. N. Pavlôpxki, được gọi là "năng lượng đơn vị của dòng chảy".

Công suất được giải phóng của dòng chảy khi chuyển từ mặt cắt M - M đến mặt cắt N - N, kí hiệu là $N_{thô}$ sẽ bằng:

$$N_{thô} = \gamma Q(E' - E) = \gamma QH', \qquad (kG.m/s) \qquad (3\text{-}21)$$

trong đó: γ - trọng lượng thể tích của chất lỏng (kG/m^3);

Q - lưu lượng (m^3/s);

H' - hiệu năng lượng đơn vị giữa thượng lưu và hạ lưu (được biểu thị thành chiều cao rơi, (hình 3.19).

Khi rơi "tập trung" và không xét tới hiệu các cột nước vận tốc $\left(\frac{\alpha v_o^2}{2g} - \frac{\alpha v^2}{2g}\right)$ và sức cản thủy lực, ta sẽ có:

$$N_{thô} = \frac{\gamma QH}{102} = 9{,}81QH \qquad (kW) \qquad (3\text{-}21')$$

Công suất trên trục tuabin (trường hợp sử dụng năng lượng dòng chảy) bằng:

$$N = \eta\frac{\gamma QH}{102} = 9{,}81QH\eta \approx 10QH\eta \qquad (kW) \qquad (3\text{-}22)$$

Công suất trên trục máy bơm (trường hợp bơm nước lên cao)

$$N = \frac{\gamma QH}{102\eta} = 9{,}81\frac{QH}{\eta} \approx \frac{10QH}{\eta} \qquad (kW) \qquad (3\text{-}23)$$

trong các công thức (3-22) và (3-23):

η - hiệu suất của tuabin hay máy bơm;

H - cột nước (m).

3.7. SỰ PHÂN BỐ ÁP SUẤT THỦY ĐỘNG TRONG DÒNG CHẢY

Trong trường hợp phun tự do, áp suất thủy tĩnh ở tất cả các điểm của dòng (ví dụ ở điểm N và N', hình 3.19 và 3.20) đều giống nhau và bằng áp suất của môi trường bên ngoài[1]:

$$P_N = P_{N'} = P_{atm}$$



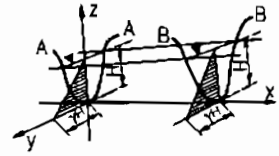
Hình 3.20

[1] Chuyển động của dòng chảy trong trường hợp này giả thiết là thay đổi dần.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Khi dòng chảy thay đổi dần trong kênh hở hoặc kín (và cụ thể là ở ống có áp), áp suất thủy động p phân bố theo định luật thủy tĩnh trong tất cả các mặt cắt ngang của dòng chảy (ví dụ, ở mặt cắt A-A, mặt cắt B-B v.v... hình 3.21), tức là theo quy luật đường thẳng:



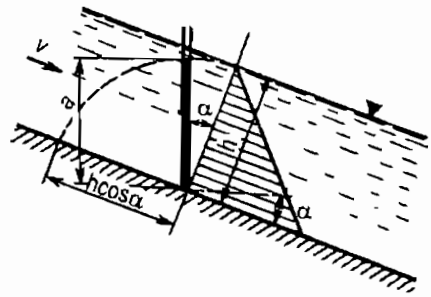
Hình 3.21

$$z + \frac{p}{\gamma} = H$$

Áp suất dư ở độ sâu h, tính từ mặt tự do, là:

$$p = \gamma h$$

Trên hình 3.22 chỉ rõ biểu đồ phân bố áp suất thủy tĩnh trong dòng chảy hở có độ dốc lớn. Áp suất tại đáy ở điểm O bằng $p = \gamma a = \gamma h\cos\alpha$; với $i < 0{,}15$, $\cos\alpha \approx 0{,}99 \approx 1$ khi đó $p = \gamma h$.



Hình 3.22

3.8. DÒNG TIA

a) Dòng tia tự do

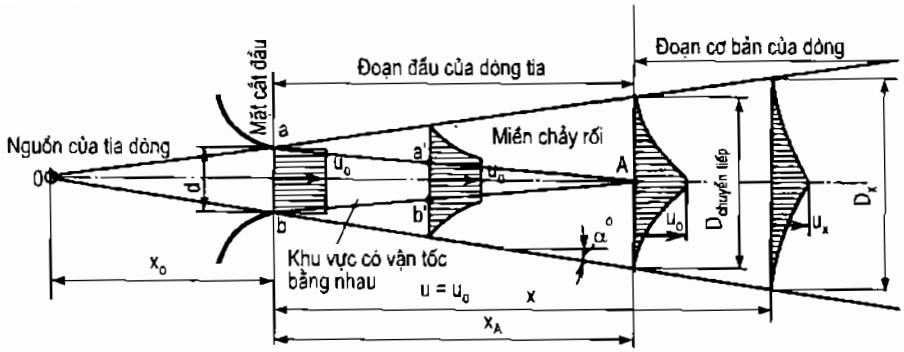
Dòng chảy trong môi trường không gặp vật cản không bị hạn chế bởi các thành cứng gọi là dòng tia tự do. Dòng tia được gọi là tia ngập nếu nó được phân tán trong khối chất lỏng đồng nhất với chất lỏng của dòng (ví dụ dòng nước chảy ngập từ lỗ bình vào không gian chứa nước). Trường hợp ngược lại, dòng tia được gọi là không ngập (ví dụ dòng chảy từ miệng ra của súng bắn nước và được phun tự do vào không khí).

b) Dòng tia ngập

Trên hình 3.23 và 3.23a trình bày cấu trúc dòng tia chảy rối của chất lỏng chảy ra từ một lỗ tròn và phân tán vào một khoảng không gian không giới hạn chứa chất lỏng đứng yên và đồng chất với chất lỏng của dòng tia, dựa theo kết quả nghiên cứu của Giáo sư G. N. Abramôvich (năm 1936).

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



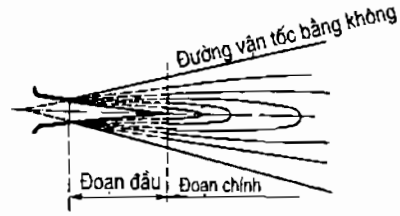
Hình 3.23

Ở mặt cắt đầu tiên (a - b), vận tốc ở tất cả các điểm của mặt cắt đều giống nhau và do đó bằng vận tốc ở trục $u = u_o$. Ở tất cả các mặt cắt khác, vận tốc phân bố theo biểu đồ ở trên hình 3.23.

Khoảng cách từ mặt cắt đầu tiên đến cực của dòng tia bằng:

$$x_o \approx 0,15\frac{d}{a} \qquad (3\text{-}24)$$

Chiều dài của đoạn đầu tiên:



Hình 3.23a: *Các đường đẳng tốc của dòng tia tự do, tức là đường nối liền các điểm có vận tốc dọc bằng nhau (trên đoạn chủ yếu hình thành dạng dòng chảy gọi là dòng "bó đuốc")*

$$x_A \approx 0,335\frac{d}{a} \qquad (3\text{-}25)$$

Góc mở rộng α của dòng tia được xác định theo điều kiện:

$$tg\alpha \approx 3,4a \qquad (3\text{-}26)$$

Đường kính của dòng tia ở mặt cắt quá độ, cũng như ở mặt cắt bất kì nào khác tương ứng bằng:

$$\left.\begin{aligned} D_{pd} &= d + 6,8x_A \\ D_x &= d + 6,8x \end{aligned}\right\} \qquad (3\text{-}27)$$

Vận tốc hướng trục dọc theo chiều dài của đoạn đầu tiên (tức là từ cửa ra đến mặt cắt quá độ) đều giống nhau và bằng vận tốc trung bình ở mặt cắt cửa ra, cụ thể là:

$$u_o = v = \frac{Q}{\omega}$$

Sau mặt cắt quá độ, tức là ở trong giới hạn của đoạn chủ yếu của dòng tia, vận tốc hướng trục trên mọi khoảng cách kể từ mặt cắt cửa ra (trên khoảng cách $x > x_A$) bằng:

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$u_x = u_o \frac{0,48d}{ax + 0,145d} \qquad (3\text{-}28).$$

Ở đây chữ a trong các công thức (3-24) - (3-28) là "hệ số rối" mà theo kết quả nghiên cứu của G. N. Abramôvich khi mặt cắt cửa ra làm tròn bằng:

$$a \approx 0,07 \div 0,08.$$

Theo định nghĩa của Ia. M. Milôvich[1] thì chiều dài của đoạn đầu tiên mà trên đó vận tốc hướng trục giữ giá trị không đổi sẽ bằng $x_A \cong 6d$, còn trị số vận tốc hướng trục ở đoạn chủ yếu bằng:

$$u_x = \beta \frac{u_o d}{x} \qquad (3\text{-}29)$$

trong đó: u_o - vận tốc ở mặt cắt cửa ra;

d - đường kính lỗ ra;

x - khoảng từ lỗ ra đến mặt cắt có tốc độ trục u_o;

β - hệ số mà theo kết quả của giáo sư A. Ia. Milôvich phải bằng 6.

Ghi chú: Trong công trình nghiên cứu của mình, giáo sư A. Ia. Milôvich là người đầu tiên xác định được chiều dài của đoạn đầu tiên của dòng tia tự do.

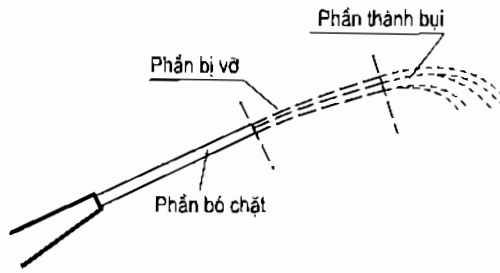
Theo công thức (3-29) khi $u_x = u_o$ ta có $x_A \approx 6d$; theo G. N. Abramôvich, chiều dài của đoạn chủ yếu bằng 4,8d.

Áp lực thủy động bên trong dòng tia khắp nơi đều như nhau và bằng áp lực của môi trường bên ngoài.

c) Dòng tia không ngập

Dòng tia chất lỏng phun bắn tự do vào không khí có thể chia làm 3 phần (hình 3.24): phần đầu là đoạn bó chặt, đoạn tan vỡ (ở đây tính liên tục của dòng chảy bị phá hoại) và đoạn thành bụi.

Chiều cao của dòng tia thẳng đứng có thể xác định gần đúng theo công thức:



Hình 3.24: *Cấu trúc của đoạn dòng tia không ngập phun bắn tự do*

[1] A. Ia. Milôvich. Cơ sở thủy động lực học của chiến tranh hơi độc M.., 1918.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$h_d = \frac{H}{1+\alpha H} \qquad (3\text{-}30)$$

trong đó: $H = v^2/2g$ - cột nước vận tốc ở chỗ ra;

α - hệ số kinh nghiệm $\alpha = \frac{0,0025}{d+(10d)^3}$, trong đó d là đường kính lỗ ra (m).

Chiều cao của dòng tia bó chặt có thể xác định gần đúng theo công thức:

$$h_{bó\ chặt} = \beta h_d = \beta \frac{H}{1+\alpha H} . \qquad (3\text{-}31)$$

trong đó: β - hệ số phụ thuộc vào chiều cao dòng tia.

Trị số bằng số của hệ số β có thể lấy như sau:

Chiều cao dòng tia (m)	7	12	20	25	30
Hệ số β	0,84	0,83	0,80	0,78	0,72

Độ bay xa của dòng tia phụ thuộc vào kích thước của dòng, vào vận tốc ban đầu và phụ thuộc vào góc nghiêng mà dòng lập với đường nằm ngang ở mặt cắt ban đầu. Theo nghiên cứu của N. P. Gavurin, độ bay xa *l* của dòng tia trong súng bắn nước có thể xác định theo công thức:

$$l = 0,415 \sqrt[3]{\alpha d} H^{2/3} \text{ (m)} \qquad (3\text{-}32)$$

trong đó: α - góc nghiêng của dòng lập với đường nằm ngang (độ);

d - đường kính của mặt cắt cửa ra của súng bắn nước (mm);

H - cột nước ở mặt cắt ra (m).

d) Áp lực của dòng tia tự do lên các thành cứng

Khi dòng tia tự do chảy bao quanh một tấm thì sẽ gây áp lực lên tấm đó. Lực P mà dòng tia tự do tác dụng lên tấm phẳng cố định ab (hình 3.25) bằng:

$$P = \gamma\omega \frac{v^2}{g} = 2\gamma\omega \frac{v^2}{2g} \quad (kG) \qquad (3\text{-}33)$$

trong đó: ω - diện tích mặt cắt ngang của dòng tia (m^2);

v - vận tốc trung bình trong dòng tia (m/s);

γ - trọng lượng thể tích của chất lỏng.

Nếu tấm ab chuyển động theo phương của trục dòng tia với vận tốc c và như vậy, vận tốc tương đối của dòng tia bằng w, $w = v - c$, thì áp lực của dòng tia lên tấm đó bằng:

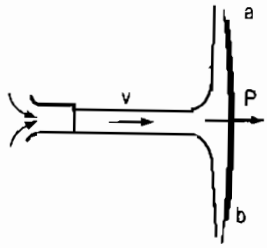
$$P = \gamma\omega \frac{w^2}{g} = 2\gamma\omega \frac{(v-c)^2}{2g} \quad (kG) \qquad (3\text{-}34)$$

https://tieulun.hopto.org

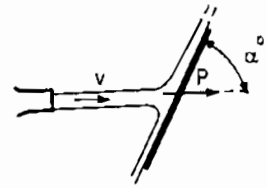
www.thuvien247.net

Nếu tấm cố định được đặt nghiêng một góc α đối với phương của dòng tia (hình 3.26) thì áp lực P theo phương của trục dòng tia sẽ bằng:

$$P = \gamma\omega\frac{w^2}{g}\sin^2\alpha = 2\gamma\omega\frac{v^2}{2g}\sin^2\alpha \quad (kG) \qquad (3\text{-}35)$$



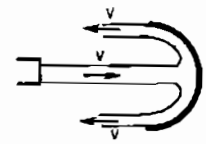
Hình 3.25



Hình 3.26

Cũng vậy, khi tấm nghiêng chuyển động theo phương của trục dòng tia với vận tốc c, tức là khi vận tốc tương đối của dòng tia w = v – c, áp lực tương ứng lên tấm theo phương của trục dòng tia sẽ bằng:

$$P = \gamma\omega\frac{w^2}{g}\sin^2\alpha = 2\gamma\omega\frac{v^2}{2g}\sin^2\alpha \quad (kG) \qquad (3\text{-}36)$$



Hình 3.27

Nếu tấm không phẳng mà lõm, có vị trí như ở hình 3.27, tức là cong một góc 180° với dòng tia (một góc π), thì áp lực sẽ bằng:

- Đối với tấm cố định:
$$P = 2\gamma\omega\frac{w^2}{2g} = 4\gamma\omega\frac{v^2}{2g} \quad (kG) \qquad (3\text{-}37)$$

- Đối với tấm chuyển động với vận tốc c:
$$P = 2\gamma\omega\frac{w^2}{2g} = 4\gamma\omega\frac{(v-c)^2}{2g} \quad (kG) \qquad (3\text{-}38)$$

e) Công của dòng tia

Nếu một tấm phẳng cô lập được đặt vuông góc với trục của dòng tia (hình 3.25) và chuyển động với tốc độ c, thì công do lực P sản ra trong một đơn vị thời gian, tức là công suất, sẽ bằng:

$$N = Pc = 2\gamma\omega\frac{(v-c)^2}{2g}c \quad (kG.m/s) \qquad (3\text{-}39)$$

Nếu như chúng ta có một hệ thống các tấm (như trong các động cơ nước), thì có thể xem trong một đơn vị thời gian có một khối lượng chất lỏng bằng $\frac{\gamma}{g}\omega v$ (chứ

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

không phải là $\frac{\gamma}{g}Q' = \frac{\gamma}{g}\omega(v-c)$ như là đối với một tấm) chảy qua hệ thống đó; do đó công của dòng tia trong một đơn vị thời gian, hay công suất sẽ bằng:

$$N = P'c = 2\gamma\omega v\frac{(v-c)}{2g}c \qquad (kG.m/s) \qquad (3\text{-}40)$$

Khi $c = \frac{v}{2}$, thì công suất sẽ cực đại (tức là công suất cực đại của động cơ), bằng:

$$N_{max} = \frac{1}{2}\gamma\omega v\frac{v^2}{2g} = 0,5\gamma Qh \qquad (kG.m/s) \qquad (3\text{-}41)$$

tức là bằng một nửa toàn bộ công suất của dòng tia ($N_{dòng} = \gamma Q\frac{v^2}{2g} = \gamma Qh$).

Như vậy là hiệu suất của động cơ có tấm phẳng không thể lớn hơn 0,5 ($\eta_{max} = 0,5$).

Khi tấm cong theo sơ đồ hình 3.27, ta có:

1. Công suất truyền cho một tấm cô lập đang chuyển động với vận tốc c dọc theo trục, bằng:

$$N = Pc = 4\gamma\omega\frac{w^2}{2g}c = 4\gamma\omega(v-c)\frac{(v-c)}{2g}c = 4\gamma Q'\frac{(v-c)}{2g}c \quad (kG.m/s) \qquad (3\text{-}42)$$

trong đó: $Q' = \omega(v-c) = \omega w$ - lượng nước đổ vào tấm (lưu lượng hiệu dụng của dòng).

2. Công suất truyền cho cả hệ thống tấm, tấm này thay chỗ tấm kia, như ở tuabin xung kích (khi $Q' = Q = \omega v$), sẽ bằng:

$$N = 4\gamma Q\frac{(v-c)}{2g}c = 4\gamma\omega v\frac{(v-c)}{2g}c \qquad (kG.m/s) \qquad (3\text{-}43)$$

Cũng như đối với tấm phẳng khi $c = \frac{v}{2}$, thì công suất đó sẽ cực đại và như vậy là:

$$N_{max} = \gamma\omega v\frac{v^2}{2g} = \gamma Q\frac{v^2}{2g} = \gamma Qh \qquad (3\text{-}44)$$

tức là đạt được toàn bộ công suất của chính dòng. Hiệu suất của động cơ có tấm lá cong nghiêng 180° đối với vận tốc tương đối của dòng, sẽ đạt tới giá trị bằng đơn vị.

Ghi chú: Vì có sức cản thủy lực, cũng như tổn thất năng lượng khi nước được dẫn ra khỏi cánh của động cơ, nên hiệu suất luôn luôn bé hơn một $\eta < 1$.

3.9. ĐỊNH LUẬT ĐỘNG LƯỢNG HOẶC XUNG LỰC

Phương trình động lượng hoặc xung lực có vai trò to lớn trong khi giải nhiều bài toán thủy lực. Đối với chất điểm chuyển động dưới tác dụng của các lực P thay đổi

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

theo thời gian, như từ giáo trình cơ học lí thuyết, có thể viết phương trình xung dưới dạng sau:

$$m\bar{u}_2 - m\bar{u}_1 = \sum \bar{P}\Delta t = \bar{R}\Delta t$$

trong đó: m - khối lượng của chất điểm đã cho;

$\bar{u}_1$ và $\bar{u}_2$ - vận tốc tại điểm đã cho ở thời điểm t và t + Δt;

$\bar{P}$ - giá trị trung bình của từng lực tác dụng trong khoảng thời gian Δt;

$\bar{R}$ - tổng hợp lực của các lực tác dụng. Các tích $m\bar{u}_1$ và $m\bar{u}_2$ chính là động lượng ở thời điểm t và t + Δt (đại lượng vectơ).

Đối với hệ các chất điểm, phương trình được viết dưới dạng:

$$\sum(m_i\bar{u}_i)_2 - \sum(m_i\bar{u}_i)_1 = \sum \bar{R}\Delta t \qquad (3\text{-}45)$$

trong đó: $\bar{R}$ - tổng hợp lực tác dụng vào từng chất điểm riêng rẽ của hệ đã cho.

Định luật động lượng có thể phát biểu như sau: *số gia của tổng động lượng các chất điểm của hệ trong một khoảng thời gian đã cho sẽ bằng tổng xung của tất cả các ngoại lực cũng trong thời đoạn đã cho ấy*. Vì rằng vận tốc u và lực R đều là các đại lượng vectơ, nên cả động lượng mu và xung của lực PΔt đều là các đại lượng vectơ, do đó phương trình (3-45) có thể viết dưới dạng tọa độ. Đối với trục chiếu bất kì, ví dụ đối với trục Ox, phương trình đó sẽ có dạng:

$$\sum_{i=1}^{i=n}(m_i\bar{u}_{ix})_2 - \sum_{i=1}^{i=n}(m_i\bar{u}_{ix})_1 = \sum \bar{R}\cos\alpha\Delta t$$

hoặc là viết gọn hơn, đối với hình chiếu trên trục Ox:

$$\Delta\sum(m\bar{u})_x = \sum \bar{R}\cos\alpha\Delta t \qquad (3\text{-}46)$$

Chất lỏng là một hệ vật chất, vì vậy có thể áp dụng định luật cơ bản của cơ học về động lượng cho khối chất lỏng bất kì được tách ra, nhưng bởi vì chất lỏng được coi như môi trường liên tục, nên phương trình xung cần được viết dưới dạng tích phân:

$$\Delta\int(mu) = \int_{t_2=t}^{t_2=t+\Delta t} R\cos\alpha dt = \int_{t_1=t}^{t_2=t+\Delta t} R\alpha dt \qquad (3\text{-}47)$$

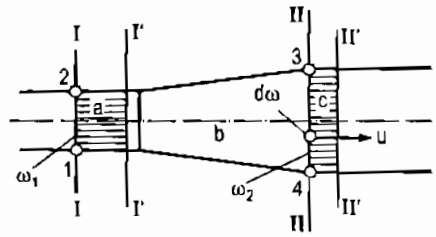
trong đó: R - tổng hợp lực của tất cả các ngoại lực.

Giới hạn trong chuyển động ổn định, ta nhận thấy trong thực tiễn, khi lập phương trình xung, thường tách ra một khối chất lỏng từ dòng chảy nhờ một mặt kiểm tra hoặc nhờ 2 mặt cắt (I - I và II - II) (hình 3.28).

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Khối chất lỏng được tách ra đó (trên hình 3.28 nó ở trong thể tích (1234) trong khi chuyển động sẽ đổi chỗ và sau khoảng thời gian Δt sẽ chiếm vị trí mới giữa các mặt cắt (I' - I') và (II' - II'). Số gia động lượng của khối đó được tính như độ chênh giữa động lượng của khối ở vị trí thứ hai (I' - I') - (II' - II') với vị trí thứ nhất (I - I) - (II - II), tức là:



Hình 3.28

$$\Delta(mv) = \left[\text{đ}.\vec{l}(b) + \text{đ}.\vec{l}(c)\right]_{t+\Delta t} - \left[\text{đ}.\vec{l}(a) + \text{đ}.\vec{l}(b)\right] \qquad (3\text{-}48)$$

Nhưng vì trong chuyển động ổn định, động lượng của khu vực (b) tại thời điểm t và tại thời điểm (t + Δt) sẽ bằng nhau, nên:

$$\Delta(mv) = \text{đ}.\vec{l}(c) - \text{đ}.\vec{l}(a)$$

Khi tính động lượng ở khu vực (c) [tức là đ.$\vec{l}$(c)] và cả của khu vực a; người ta sử dụng đẳng thức:

$$\text{đ}.\vec{l}(c) = \int \text{đm}.\vec{u} = \int_{\omega} \rho(d\omega u dt)\vec{u} = \rho dt \int_{\omega} u^2 d\omega$$

Khi đó phương trình xung có dạng:

$$\rho dt \int_{\omega_2} u^2 d\omega - \rho dt \int_{\omega_1} u^2 d\omega = \sum P\cos\alpha dt$$

hoặc là đưa vận tốc trung bình v trên mặt cắt vào trong tính toán rồi quy phương trình về đơn vị thời gian, ta được:

$$\rho\alpha_o(\omega_2 v_2^2 - \omega_1 v_1^2) = \sum P\cos\alpha \qquad (3\text{-}49)$$

trong đó: α_o - hệ số Buxinet

$$\alpha_o = 1 + \frac{\int_{\omega} \Delta u^2 d\omega}{\omega v^2} \qquad (3\text{-}50)$$

Vì lưu lượng $Q = \omega_1.v_1 = \omega_2.v_2$, nên sau khi tiến hành một số thay thế, có thể viết lại phương trình (3-49) thành:

$$\rho\alpha_o Q(v_2 - v_1) = \sum P\cos\alpha$$

và vì $\rho = \gamma/g$, nên:

$$\gamma\frac{\alpha_o Q}{g}(v_2 - v_1) = \sum P\cos\alpha \qquad (3\text{-}51)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Trên cơ sở phương trình xung rất nhiều vấn đề của thủy lực đã được giải quyết, trong đó có vấn đề xác định tổn thất năng lượng khi mở rộng đột ngột, tính toán nước nhảy thủy lực và các vấn đề khác.

Ghi chú: Hệ số Buxinet α_0 cũng như hệ số Coriôlit α phụ thuộc vào sự phân bố vận tốc trong mặt cắt ngang của dòng chảy, nhưng các quan hệ này khác nhau rõ rệt.

Nếu như trong các công thức (3-10) và (3-50) ta kí hiệu:

$$\frac{\int_\omega \Delta u^2 d\omega}{v^2\omega} = \eta \quad \text{và} \quad \frac{\int_\omega \Delta u^3 d\omega}{v^3\omega} = \mu$$

thì từ đó suy ra: $\alpha = 1 + 3\eta + \mu$ và $\alpha_0 = 1 + \eta$

Các đại lượng μ và η không có quan hệ hàm với nhau, nên cũng không có quan hệ hàm giữa các hệ số α và α_0. Trong trường hợp có thể bỏ qua μ vì quá nhỏ, nghĩa là như thường hay giả thiết $\mu \approx 0$, có thể viết:

$$\alpha = 3\alpha_0 - 2 \quad \text{hay} \quad \alpha_0 \approx \frac{\alpha + 2}{3}$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Chương 4

SỨC CẢN THỦY LỰC

4.1. CHUYỂN ĐỘNG TẦNG VÀ RỐI CỦA CHẤT LỎNG

Các tổn thất cột nước để khắc phục sức cản thủy lực h_w, thường được chia thành hai nhóm:

a) Tổn thất cột nước dọc đường (chiều dài) - h_d (tổn thất do khắc phục sức cản ma sát);

b) Tổn thất cột nước cục bộ - h_c (tổn thất do sự biến đổi đột ngột về hình dạng biên của dòng chảy gây ra).

Tổn thất cột nước toàn bộ h_w trên đoạn đã cho bằng tổng tất cả các tổn thất:

$$h_w = \sum h_d + \sum h_c \qquad (4\text{-}1)$$

Đối với trạng thái chảy tầng và chảy rối của chất lỏng, các tổn thất cột nước (cả dọc đường và cục bộ) và cả sự phân bố vận tốc trong mặt cắt của dòng chảy đều có sự khác nhau thực sự.

Tiêu chuẩn để xác định trạng thái chuyển động của dòng chảy là bất đẳng thức:

$$Re \lesseqgtr Re_{pg} \qquad (4\text{-}2)$$

trong đó: Re - số Râynôn không thứ nguyên;

Re_{pg} - trị số phân giới của số đó.

Đối với ống có mặt cắt tròn số Re được xác định theo công thức:

$$Re = \frac{vd}{\nu} \qquad (4\text{-}3)$$

Đối với tất cả các mặt cắt ngang khác (và cả đối với lòng dẫn hở):

$$Re' = \frac{vR}{\nu} \qquad (4\text{-}4)$$

hoặc là:

$$Re'' = \frac{vd_{td}}{\nu} \qquad (4\text{-}5)$$

trong đó: v - vận tốc trung bình;

d và R - đường kính và bán kính thủy lực;

ν - hệ số nhớt động học của chất lỏng;

d_{td} - đường kính tương đương (về thủy lực) ($d_{td} = 4R$).

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Giá trị phân giới của số Re có thể lấy bằng $Re_{pg} = 2000 \div 2400$ để áp dụng cho công thức (4-3) và (4-5); $Re_{pg} = 500 \div 600$ - khi dùng công thức (4-4); $Re'_{pg} = 800 \div 900$ đối với các kênh hở.

Chú thích: Các giá trị Re phân giới dẫn ra ở đây thuộc về chuyển động đều trong ống và kênh hở. Số Re tăng khi chuyển động có gia tốc dương và giảm khi chuyển động có gia tốc âm. Hệ số nhám của thành vách lòng dẫn cũng như điều kiện của lối vào đều ảnh hưởng đến Re_{pg}. Giá trị phân giới của số Râynôn sẽ tăng khi giảm hệ số nhám và cấu tạo lối vào thuận hơn.

4.2. TỔN THẤT CỘT NƯỚC DỌC ĐƯỜNG VÀ PHÂN BỐ VẬN TỐC TRÊN MẶT CẮT NGANG CỦA DÒNG CHẢY

a) Tổn thất cột nước dọc đường khi chảy tầng cũng như chảy rối trong ống tròn được xác định theo công thức Đacxi Vâyxbăc:

$$h_d = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} \qquad (4\text{-}6)$$

còn trong các kênh hở (và cả trong các ống có mặt cắt dạng bất kì) - theo công thức:

$$h_d = \frac{v^2}{C^2} \frac{l}{R} \qquad (4\text{-}7)$$

trong đó: λ - hệ số ma sát thủy lực;

g - gia tốc rơi tự do;

l, d, v, R, C - lần lượt là chiều dài đoạn ống hoặc đoạn kênh, đường kính ống, vận tốc trung bình của dòng chảy, bán kính thủy lực và hệ số Sêzi trong công thức Sêzi (4-29).

Trong chuyển động tầng, hệ số λ trong công thức (4-6) được xác định theo quan hệ (công thức Poadơ):

$$\lambda = \frac{64}{Re} \qquad (4\text{-}8)$$

Liên hệ giữa các hệ số λ và C có dạng:

$$\lambda = \frac{8g}{C^2}; \quad C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}} \qquad (m^{0,5}/s) \qquad (4\text{-}9)$$

b) Phân bố vận tốc trên mặt cắt của ống khi chảy rối được biểu thị bằng các công thức (đối với các ống có áp)[1].

---

[1] Altsul A. Đ. Tổn thất thủy lực do ma sát ở trong các ống. M - L., NXB Năng lượng quốc gia, 1964.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$\frac{u}{u_{max}} = 1 - 2\lg\frac{r_o / y}{\frac{0,975}{\sqrt{\lambda}} + 1,35} \qquad (4\text{-}10)$$

hoặc:
$$\frac{u}{u_{max}} = \left(\frac{y}{r_o}\right)^{0,9\sqrt{\lambda}} = \left(1 - \frac{r}{r_o}\right)^{0,9\sqrt{\lambda}} \qquad (4\text{-}11)$$

trong đó:

u - vận tốc trung bình theo thời gian cục bộ ở khoảng cách y kể từ thành ống;

u_{max} - vận tốc trên trục ống;

r_o - bán kính ống;

λ - hệ số ma sát thuỷ lực;

r - khoảng cách kể từ trục ống.

Prandtl đã rút ra công thức giữa vận tốc cực đại u_{max} và vận tốc trung bình v trong ống dưới dạng:

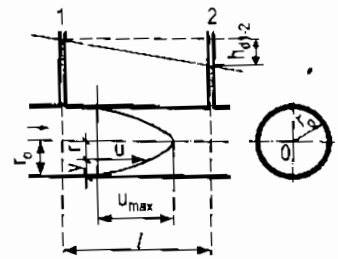
$$\frac{u_{max}}{v} = 1 + D\frac{u_*}{v} \text{ hoặc } \frac{u_{max}}{v} = 1 + D\frac{\sqrt{\lambda}}{\sqrt{8}}$$

trong đó: D - độ hụt vận tốc;

u_* - vận tốc động lực, $u_* = \sqrt{gRi}$.

Theo đề nghị của Altsul có thể lấy:

$$\frac{u_{max}}{v} = 1 + 1,35\sqrt{\lambda} \qquad (4\text{-}12)$$



Hình 4.1: *Phân bố vận tốc trong ống chảy tầng*

còn: $\alpha = 1 + 2,65\lambda$ (4-12')

trong đó: α - hệ số Côriôlit chảy rối trong ống.

Sự phân bố vận tốc trong mặt cắt ngang của dòng chảy tầng tuân theo quy luật parabôn. Đối với ống tròn hình trụ, u được xác định theo công thức Xtốc (hình 4.1):

$$u = \frac{\gamma J}{4\mu}\left(r_o^2 + r^2\right) = \frac{\gamma h_d}{4\mu l}\left(r_o^2 + r^2\right) \qquad (4\text{-}13)$$

trong đó: u - vận tốc cục bộ ở điểm cách trục ống một khoảng là r;

r_o - bán kính ống;

γ - trọng lượng thể tích của chất lỏng;

$J = h_d/l$ - độ dốc thủy lực;

μ - hệ số nhớt động lực.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Hệ số Côriôlit khi chảy tầng: $\alpha = 2$ (4-14)

còn tỉ số giữa vận tốc trung bình và cực đại:

$$\frac{v}{u_{max}} = 0,5 \quad (4\text{-}15)$$

4.3. HỆ SỐ MA SÁT THỦY LỰC KHI CHẢY RỐI

a) Các công thức xác định hệ số λ của ống có áp

Hệ số ma sát thủy lực λ trong công thức Đaxi - Vâyxbăc (4-6) phụ thuộc vào hai yếu tố: số Râynôn Re = vd/ν và độ nhám tương đối k_{td}/d (đối với các ống tròn):

$$\lambda = f(Re, k_{td}/d) \quad (4\text{-}16)$$

trong đó: k_{td} độ nhám tuyệt đối hạt đều tương đương (bảng 4.1).

Độ nhám tuyệt đối hạt đều tương đương được hiểu là chiều cao của mô nhám hình thành bởi các hạt có kích thước giống nhau mà trong tính toán cho ta cùng một giá trị hệ số ma sát thuỷ lực λ như đối với thành ống có độ nhám tự nhiên.

Để xác định giá trị của hệ ma sát thủy lực λ trong dòng chảy rối trong các ống có áp, có thể sử dụng các công thức sau đây:

1. Công thức Cônbruc - Uaitơ

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2\lg\left(\frac{2,5}{Re\sqrt{\lambda}} + \frac{k_{td}}{3,7d}\right) \quad (4\text{-}17)$$

Bảng 4.1. Giá trị của độ nhám tuyệt đối hạt đều tương đương k_{td} trong các công thức (4-17) và (4-18)

Vật liệu và loại ống	Trạng thái của ống	k_{td} (mm)*
1	*2*	*3*
Ống kéo bằng thủy tinh và kim loại mầu	Mới trơn về kĩ thuật	$\frac{0,001-0,01}{0,005}$
Ống thép không có khe	Mới và sạch, đặt cẩn thận	$\frac{0,02-0,05}{0,030}$
	Sau một số năm khai thác	$\frac{0,15-0,30}{0,2}$
Ống hàn bằng thép	Mới và sạch	$\frac{0,03-0,10}{0,05}$
	Sau khi làm sạch một ít han gỉ	$\frac{0,1-0,2}{0,15}$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

1	2	3
	Bị gỉ không nhiều	$\frac{0,3-0,7}{0,5}$
	Bị gỉ, đã cũ	$\frac{0,8-1,5}{1,0}$
	Gỉ nhiều hoặc có nhiều lớp lắng đọng	$\frac{2,0-4,0}{3,0}$
Ống thép nối bằng đinh tán	Hàng đinh đặt dọc và ngang theo một hàng cố định; tình trạng mặt ngoài tốt	0,3 - 0,4
	Hai hàng đinh dọc và một hàng ngang; không bị han gỉ	$\frac{0,6-0,7}{0,65}$
	Ngang một hàng, dọc hai hàng; quét nhựa hoặc sơn phía trong	1,2 - 1,3
	Có 4 - 6 hàng đinh dọc, đã khai thác nhiều năm	2,0
	Ngang có 4 hàng, dọc có 6 hàng	4,0
Ống thép pha kẽm	Mới và sạch	$\frac{0,1-0,2}{0,15}$
	Sau một số năm khai thác	$\frac{0,4-0,7}{0,5}$
Ống gang	Quét atfan	$\frac{0,12-0,30}{0,18}$
	Mới	$\frac{0,2-0,5}{0,3}$
	Đã dùng cũ	$\frac{0,5-1,5}{1,0}$
	Rất cũ	dưới 3,0
Ống gỗ	Bằng các thanh gỗ bào cẩn thận	$\frac{0,1-0,3}{0,15}$
	Bằng các thanh gỗ thường	$\frac{0,3-1,0}{0,5}$
	Bằng thanh gỗ không bào	$\frac{1,0-2,5}{2,0}$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

1	2	3
Ống ximăng	Mới	$\frac{0,05-0,1}{0,085}$
	Đã sử dụng	0,60
Ống bêtông	Có bề mặt tốt, mài nhẵn	$\frac{0,3-0,8}{0,5}$
	Chất lượng trung bình	2,5
	Bề mặt thô (nhám)	3,0 - 9,0
Ống nối cao su		0,03

*) Số bên dưới vạch ngang là giá trị trung bình.

2. Công thức Altsul

$$\lambda = 0,11\left(\frac{k_{td}}{d} + \frac{68}{Re}\right)^{0,25} \qquad (4\text{-}18)$$

Các công thức (4-17) và (4-18) được xây dựng trên cơ sở lý thuyết rồi bán thực nghiệm và có thể dùng cho mọi chất lỏng Niutơn đồng nhất. Giá trị của λ theo (4-18) có thể lấy theo bảng 4-2 và cũng có thể xác định bằng toán đồ (hình 4.2).

Bảng 4.2. Các giá trị của hệ số ma sát thủy lực λ tính theo công thức Altsul (4-18)

d/k_{td}	Re	λ	d/k_{td}	Re	λ
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
100	5.000	0,0433	200	400	0,0424
		0,0433		2.000	0,0334
	25.000	0,0370		5.000	0,0312
120	4.000	0,044			
	6.000	0,0413	300	4.000	0,0415
	10.000	0,0386		10.000	0,0349
	25.000	0,0358		100.000	0,0278
140	4.000	0,0435			
	10.000	0,0380	400	5.000	0,0392
	40.000	0,0339		10.000	0,0342
160	5.000	0,0413		40.000	0,0280
	10.000	0,0372		150.000	0,0258
	50.000	0,0327			

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

1	2	3	4	5	6
500	5.000	0,0375	3000	33.000	0,0244
	50.000	0,0266		200.000	0.0173
	200.000	0,0244		300.000	0,0170
700	8.000	0,0348		1.000.000	0,0156
	70.000	0,0244			
	200.000	0.0226	5000	66.000	0,0206
1000	12.000	0,0314		500.000	0,0150
	30.000	0,0264		2.000.000	0.0137
	70.000	0,0232	10000	100.000	0,0184
	400.000	0,0204		1.000.000	0,0126
2000	25.000	0,0262		3.000.000	0,0116
	200.000	0,0188			
	900.000	0,0171			

Sai số giữa hai công thức (4-17) và (4-18) thực tế không vượt quá 2 - 3%. Khi tuân theo điều kiện[1]:

$$\mathrm{Re}\frac{k_{td}}{d} = \frac{vk_{td}}{\nu} > 500 \qquad (4\text{-}19)$$

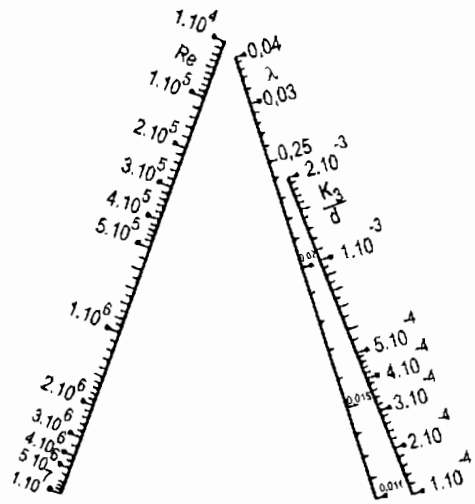
công thức (4-17) chuyển về dạng công thức Prandtl - Nikuradze:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2\lg\frac{d}{k_{td}} + 1,74 \qquad (4\text{-}20)$$

còn công thức (4-18) - về dạng công thức B. L. Sifrinxon:

$$\lambda = 0,11\left(\frac{k_{td}}{d}\right)^{0,25} \qquad (4\text{-}21)$$

Hai công thức vừa dẫn ra cũng đúng với các ống hoàn toàn nhám, khi sức cản của chúng không còn phụ thuộc vào số Râynôn nữa.



Hình 4.2: *Toán đồ xác định hệ số ma sát thủy lực theo công thức (4-18)*

Khi thỏa mãn điều kiện[1]:

$$\mathrm{Re}\frac{k_{td}}{d} = \frac{vk_{td}}{\nu} < 10 \qquad (4\text{-}22)$$

[1] Altsul A. Đ., Sức cản thủy lực. NXB Nhêdra M., 1970.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

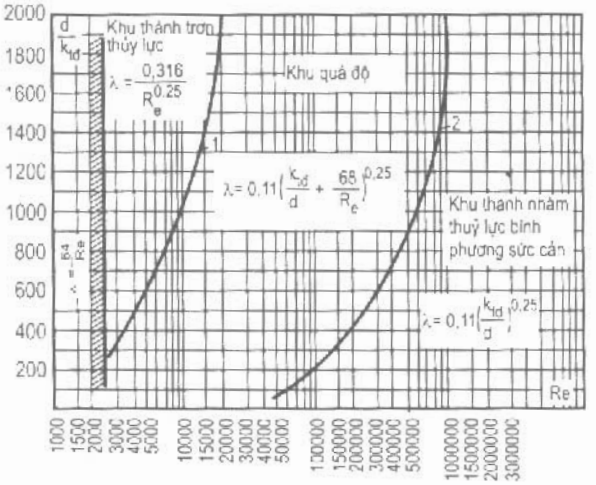
công thức (4-17) chuyển về dạng công thức Prandtl - Nikuradze:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2\lg \mathrm{Re}\sqrt{\lambda} + 0{,}8 \qquad (4\text{-}23)$$

còn công thức (4-18) thành công thức Bladiuxơ:

$$\lambda = 0{,}316 / \mathrm{Re}^{0.25} \qquad (4\text{-}23')$$

Các công thức vừa dẫn ra đúng cả với các ống thành trơn thủy lực khi sức cản của chúng không phụ thuộc vào độ nhám. Ranh giới giữa các khu vực áp dụng các công thức xác định λ được trình bày ở hình 4.2a.



Hình 4.2a: *Ranh giới các khu vực áp dụng các công thức xác định λ*

1) $\mathrm{Re}\frac{k_{td}}{d} = 10$; *2)* $\mathrm{Re}\frac{k_{td}}{d} = 500$.

3. Công thức Pavlôpxki đối với các ống có đường kính d < 4m

$$\lambda = 8gn^2\left(\frac{4}{d}\right)^{3\sqrt{n}} \qquad (4\text{-}24)$$

đối với ống có đường kính d > 4m:

$$\lambda = 8gn^2\left(\frac{4}{d}\right)^{2.6\sqrt{n}} \qquad (4\text{-}25)$$

Giá trị của hệ số nhám n xem trong bảng 4.5, còn của hệ số λ theo công thức (4-24), xem bảng 4.3.

Công thức Pavlôpxki được áp dụng để tính toán chuyển động của nước khi độ nhám và vận tốc khá lớn, cũng tức là đối với khu vực bình phương sức cản. Khi hệ số λ không phụ thuộc cả vào độ nhớt của chất lỏng lẫn vào vận tốc của dòng chảy.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 4.3. Trị số của hệ số λ đối với ống nhám thủy lực tính theo công thức N. N. Pavlôpxki (4-24)

d (mm)	Hệ số nhám n				
	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015
200	0,021	0,026	0,033	0,039	0,050
300	0,019	0,024	0,029	0,035	0,044
400	0,017	0,022	0,026	0,033	0,039
500	0,016	0,020	0,025	0,030	0,036
600	0,016	0,019	0,024	0,028	0,034
700	0,015	0,019	0,023	0,027	0,032
800	0,015	0,018	0,022	0,026	0,031
900	0,014	0,017	0,021	0,025	0,029
1000	0,013	0,017	0,020	0,023	0,028
1200	0,013	0,016	0,019	0,022	0,026
1500	0,012	0,015	0,018	0,021	0,025
2000	0,011	0,014	0,016	0,019	0,022
2500	0,011	0,013	0,015	0,018	0,021
3000	0,010	0,012	0,014	0,017	0,020

4. Công thức Sêvêlep[1]

Theo các thí nghiệm của Sêvêlep, khi thỏa mãn được điều kiện:

$$Re \geq 920000d \tag{4-26}$$

d - đường kính ống (m) thì hệ số λ có thể xác định theo công thức:

$$\lambda = \frac{0,021}{d^{0,2}} \tag{4-27}$$

Khi Re < 920000d, thì nên xác định hệ số λ theo công thức:

$$\lambda = \left[\frac{0,0000015 + \frac{\nu}{v}}{d}\right]^{0,3} \tag{4-28}$$

trong đó: ν - hệ số nhớt động học của chất lỏng (m^2/s).

Các công thức (4-27) và (4-28) được đề nghị áp dụng cho các ống dẫn nước bằng gang và thép có đường kính lớn (d = 600 ÷ 1200mm) có xét đến sự gia tăng sức cản trong quá trình sử dụng. Trong bảng 4.4 đã cho các giá trị của λ theo công thức (4-27).

---

[1] Sêvêlep F. A., Nghiên cứu các quy luật thủy lực cơ bản của chuyển động rối trong ống. M., NXB XDQG, 1953.

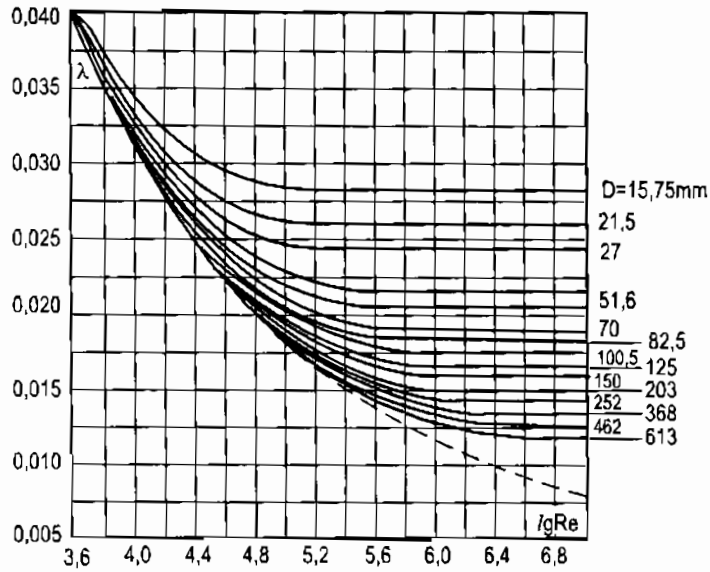
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 4.4. Các giá trị của hệ số ma sát thủy lực theo công thức F. A. Sêvêlep (4-27) đối với các ống gang và thép có đường kính lớn

d (m)	λ	d (m)	λ	d (m)	λ
1,00	0,0210	1,75	0,0178	3,00	0,0151
1,25	0,0196	2,00	0,0161	4,00	0,0139
1,50	0,0086	2,5	0,0161	5,00	0,0116

Đối với các ống thép mới, giá trị của hệ số λ có thể tìm được theo toán đồ do Murin lập ra, như trong hình 4.3[1]



***Hình 4.3**: Quan hệ giữa hệ số λ và số Râynôn của các ống thép mới (đồ thị của G.A. Murin – – – – – – – – – ống trơn)*

Thí dụ 1. Tìm tổn thất cột nước do ma sát khi nước ở độ nhiệt t = 20°C chuyển động trong ống thép hàn liền khối đã sử dụng và có đường kính bên trong là d = 0,5m. Lưu lượng nước Q = 0,60 m^3/s. Chiều dài ống *l* = 500m.

Giải:

1- Ta tìm độ nhám tương đối của ống. Theo bảng 4.1 độ nhám tuyệt đối tương đương của ống là k_{td} = 0,15mm.

Vậy: $$\frac{k_{td}}{d} = \frac{0,15}{500} = 0,0003$$

[1] Murin G. A., Sức cản thủy lực của các ống thép. "Thông báo của VTI, 1948, N°.10.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

2- Hệ số nhớt động học của nước ở nhiệt độ đã cho là: $\nu = 0{,}01007\ cm^2/s$.

3- Vận tốc trung bình của dòng nước trong ống:

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4.0{,}60}{3{,}14.0{,}5^2} = 3{,}06\ m/s$$

4- Số Râynôn của dòng nước trong ống:

$$Re = \frac{vd}{\nu} = \frac{306.50}{0{,}01007} = 1{,}53.10^6$$

5- Theo công thức (4-18), giá trị của hệ số ma sát thuỷ lực sẽ bằng:

$$\lambda = 0{,}011\left(\frac{k_{td}}{d} + \frac{68}{Re}\right)^{0{,}25} = 0{,}011\left(0{,}0003 + \frac{68}{1{,}53.10^6}\right)^{0{,}25} = 0{,}015$$

6- Tìm được trị số tổn thất dọc đường theo công thức (4-6):

$$h_d = \lambda \frac{l}{d}\frac{v^2}{2g} = 0{,}015\,\frac{500}{0{,}5}\,\frac{3{,}06^2}{2.9{,}81} = 7{,}15m\ \text{cột nước}$$

Thí dụ 2. Tại 2 điểm của mặt cắt ướt của ống dẫn nước đường kính d = 500mm, đo được vận tốc tại khoảng cách y = 110mm là u = 2,3 m/s và ở trục ống u_{max} = 2,6 m/s. Tìm đại lượng tổn thất cột nước trên 1m chiều dài của đường ống.

Giải:

1- Ta xác định hệ số ma sát thuỷ lực theo công thức (4-11)

$$\frac{u}{u_{max}} = \left(\frac{y}{r_o}\right)^{0{,}9\sqrt{\lambda}}$$

Lấy loga, ta được:

$$\lg\frac{u}{u_{max}} = 0{,}9\sqrt{\lambda}.\lg\frac{y}{r_o}$$

$$\lambda = \left[\frac{\lg\frac{u}{u_{max}}}{0{,}9\lg\frac{y}{r_o}}\right]^2 = \left[\frac{\lg\frac{2{,}3}{2{,}6}}{0{,}9\lg\frac{110}{250}}\right]^2 = 0{,}0286$$

2- Ta tìm được trị số của vận tốc trung bình theo hệ thức (4-12):

$$\frac{u_{max}}{v} = 1 + 1{,}35\sqrt{\lambda} = 1 + 1{,}35\sqrt{0{,}0286} = 1{,}228$$

$$v = \frac{2{,}60}{1{,}228} = 2{,}11\ m/s$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

3- Xác định giá trị tổn thất cột nước do ma sát trên 1m theo công thức (4-6):

$$\frac{h_d}{l} = \frac{\lambda v^2}{d2g} = \frac{0,0286.2,11^2}{0,5.19,6} = 0,013m$$ cột nước trên 1m dài của ống.

b) Các công thức xác định hệ số Sêzi của lòng dẫn hở

Vận tốc trung bình trong chuyển động đều trong lòng dẫn hở được xác định theo công thức Sêzi:

$$v = C\sqrt{Ri} \qquad (4\text{-}29)$$

trong đó: v - vận tốc trung bình (m/s);

R - bán kính thủy lực (m);

i - độ dốc đáy;

C - hệ số Sêzi ($m^{0,5}/s$).

Hầu hết các công thức được đề xuất để tính hệ số Sêzi đều thuộc khu bình phương sức cản.

1. Công thức N. N. Pavlôpxki

$$C = \frac{1}{n}R^y \qquad (4\text{-}30)$$

trong đó: R - bán kính thủy lực (m);

n - hệ số nhám;

$$y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,10) \qquad (4\text{-}31)$$

tức là số mũ y là hàm số của hệ số nhám và bán kính thủy lực, y = f(R, n).

Theo chỉ dẫn của Pavlôpxki, có thể tính gần đúng:

$y = 1,5\sqrt{n}$ khi R < 1,0m;

$y = 1,3\sqrt{n}$ khi R > 1,0m.

Trong thực tế, đôi khi nên tiến hành tính toán với giá trị y không đổi. Thường lấy y = 1/6. Khi đó ta được công thức Maning:

$$C = \frac{1}{n}R^{1/6} \qquad (4\text{-}32)$$

Giá trị bằng số của hệ số nhám n đã cho trong các bảng 4.5 và 4.6, còn giá trị của C cho trong bảng 4.7 và cả trên đồ thị (hình 4.4).

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 4.5. Trị số của hệ số nhám n theo N. N. Pavlôpxki

Đặc trưng thành ống	n	$\frac{1}{n}$
Mặt ngoài được mạ hay tráng men. Ván được bào rất nhẵn và ghép thật kín	0,009	111,1
Ván bào. Mặt trát bằng vữa ximăng nguyên chất	0,010	100,0
Mặt tráng bằng ximăng (1/3 cát). Ống gạch, ống gang, ống thép sạch (mới) được đặt và nối cẩn thận	0,011	90,9
Ván không bào, ghép kín. Ống cấp nước trong điều kiện bình thường, không có nhiều ghét bám. Ống thoát nước rất sạch. Bêtông đổ rất tốt	0,012	83,3
Đá xây gọt phẳng. Gạch xây rất tốt. Ống thoát nước trong điều kiện bình thường. Ống dẫn nước hơi bẩn. Ván không bào, ghép chưa hoàn toàn kín	0,013	76,9
Ống "bẩn" (ống cấp nước và ống thoát nước). Gạch xây. Áo kênh bằng bêtông trong điều kiện trung bình	0,014	71,4
Gạch xây thô. Đá xây (không gọt phẳng) nhưng bề mặt được sửa sạch và đặt trên nền đá bằng phẳng. Ống thoát rất bẩn. Vải bạt bọc các thanh gỗ	0,015	66,7
Đá hộc chất lượng trung bình, xây đạt yêu cầu. Gạch xây đã cũ (đã vụn). Mặt bêtông tương đối thô. Nham thạch trơn được thi công khá kĩ	0,017	58,8
Kênh được phủ một lớp bùn dầy và ổn định. Kênh đào trong hoàng thổ chắc và trong sỏi nhỏ chắc, có phủ một lớp bùn liên tục (tất cả đều ở trạng thái không chê trách được)	0,018	55,6
Đá hộc xây rất thô. Đá hộc lớn, xây tốt. Mặt đường bằng đá cuội. Kênh đào hoàn toàn trong nham thạch. Kênh đào trong hoàng thổ, trong sỏi chắc, trong đất chắc và được phủ một lớp bùn (ở trạng thái bình thường)	0,020	50,0
Mặt đường bằng đá dăm lớn có nhiều góc cạnh. Kênh đào trong nham thạch, mặt kênh thi công không kĩ. Kênh đào trong đất sét chắc. Kênh đào trong hoàng thổ, trong sỏi, trong đất và được phủ một lớp bùn không liên tục (có những chỗ bị gián đoạn). Kênh đất loại lớn ở điều kiện giữ gìn và sửa chữa cao hơn điều kiện trung bình	0,0225	44,4
Kênh đất loại lớn ở điều kiện giữ gìn và sửa chữa trung bình và kênh đất loại nhỏ ở điều kiện tốt. Sông và suối trong điều kiện thuận lợi (chảy tự do, không bị vẩn rác và ít rêu)	0,025	40,0
Kênh đất loại lớn trong điều kiện thấp hơn trung bình, loại nhỏ trong điều kiện trung bình	0,0275	36,4
Kênh và sông trong điều kiện tương đối xấu (ví dụ, nhiều chỗ có rêu và đá cuội hay là có cỏ mọc rậm rạp, có những chỗ bị lở bờ v.v...)	0,030	33,3
Kênh và sông ở điều kiện rất kém, có mặt cắt không đều đặn, bị đá, rêu và các thứ khác làm trở ngại nhiều	0,035	28,6
Cũng như thế, nhưng trong những điều kiện đặc biệt kém (có đá vụn và đá lớn dưới lòng sông, có rễ cây rậm rạp, nhiều chỗ bị xói và lở, có cỏi mọc nhiều)	0,040	25,0

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 4.6. Trị số trung bình của hệ số nhám của lòng sông thiên nhiên (theo TY-24-02)

	Giá trị của n
Lòng dẫn thiên nhiên ở điều kiện rất tốt (lòng dẫn đất, sạch, thẳng trên bình diện hoàn toàn không bị vẩn rác, nước chảy qua dễ dàng).	0,025
Lòng dẫn của các con sông lớn và vừa, loại đồng bằng, thường xuyên có nước chảy có điều kiện lòng sông và điều kiện thoát nước tốt	0,033
Lòng dẫn tương đối sạch, thường xuyên có nước chảy, thuộc loại đồng bằng, ở điều kiện bình thường, có uốn khúc, nước chảy không đúng hướng lắm hoặc là dòng chảy thì thẳng nhưng địa hình của đáy không đều đặn (có bãi cạn, có lạch sâu, một vài nơi có đá). Lòng sông đều đặn, có đá cuội, khai thông tốt ở phía hạ lưu. Lòng dẫn bằng đất, có dòng chảy chu kỳ (sông cạn), trong điều kiện tốt	0,040
Lòng dẫn (của các sông lớn và vừa) rất nhiều rác, đường sông quanh co và có một phần có thực vật phủ, có đá, dòng chảy không êm. Đường chảy có tính chất chu kỳ (về mùa mưa hoặc mùa xuân), mùa lũ đem theo nhiều bùn cát, trong lòng có nhiều đá lớn hoặc có cây cỏ v.v... che phủ - Các bãi cát của sông lớn và vừa đã được khai khẩn tương đối, có thực vật che phủ (cỏ, bụi cây)	0,50
Dòng chảy có tính chất chu kỳ, quanh co và có nhiều rêu mọc. Các bãi cát nhiều thực vật, chỗ cao chỗ thấp, khai khẩn chưa tốt (có lạch sâu, có cây cối và bụi rậm) và còn có vụng nhỏ. Đoạn sông có bãi đá ở đồng bằng. Lòng sông có sỏi và đá lớn ở miền núi có mặt nước không đều đặn.	0,067
Những lòng sông và bãi cạn có rất nhiều cỏ rêu (dòng chảy chậm) và có vực sâu lớn. Lòng sông có đá lớn ở miền núi, nước chảy siết, nước tung bọt có mặt nước sôi sục (những bọt nước bắn tung lên trời)	0,080
Vẫn là các bãi cạn như trên nhưng có luồng chảy xiên không đúng hướng và có vụng nhỏ. Dòng sông ở miền núi, uốn khúc, lòng sông có nhiều đá lớn, thấy rõ thác lớn và hình dạng bậc thang của đáy, bọt rất nhiều đến nỗi làm cho nước mất tính chất trong suốt và thành màu trắng, tiếng nước chảy át hẳn các âm thanh khác, khó nghe tiếng người nói chuyện	0,100
Dòng sông loại vùng lầy (có thực vật, chùm cỏ, ở nhiều nơi nước hầu như tù hãm v.v...). Bãi cát có nhiều cây cối, có nhiều chỗ nước "tù" có vực sâu, hồ, v.v...	0,133
Những dòng sông loại hoang dã bằng đất, đá, bùn v.v... Bãi có nhiều cây rậm rạp kiểu rừng taiga. Nhưng bãi dốc của lưu vực ở trạng thái tự nhiên	0,200

Ghi chú: Vì lòng sông thiên nhiên có rất nhiều vẻ khác nhau, mà trong đó hệ số nhám thay đổi ngay cả đối với cùng một đoạn sông, phụ thuộc vào độ đầy nước của lòng sông và các yếu tố khác, do đó để xác định tổn thất cột nước do ma sát dọc đường ta phải dùng đến các hệ số nhám tìm được bằng nghiên cứu về địa chất thủy văn của khúc sông đã định ở mức nước phù hợp nhất với mức nước thiết kế. Trong trường hợp thiếu những kết quả nghiên cứu trên, thì có thể sử dụng các số liệu tương tự đã được quan sát trên những đoạn khác của cùng một con sông hoặc ở các sông khác có điều kiện tương tự như đoạn sông đang xét.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 4.7. Trị số của hệ số Sêzi C theo công thức của viện sĩ N. N. Pavlôpxki

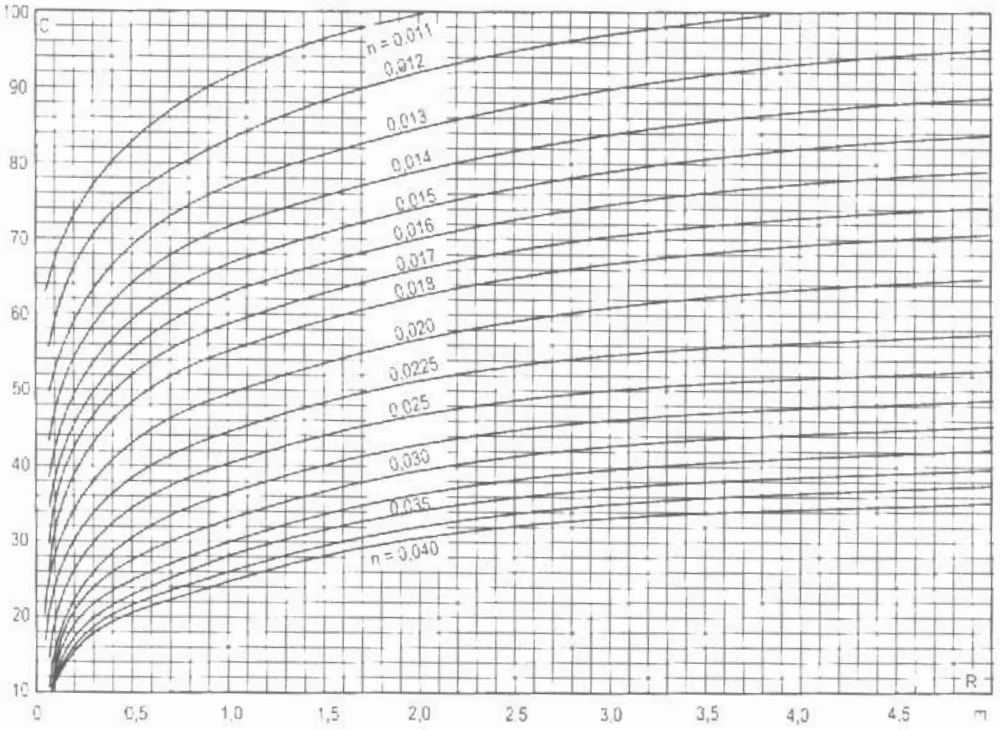
$$C = \frac{1}{n} R', \quad y = 2{,}5\sqrt{n} - 0{,}13 - 0{,}75\sqrt{R}(n - 0{,}10)$$

Bán kính thủy lực R (m)	Hệ số nhám n							
	0,011	0,013	0,017	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*
0,01	50	38	24	19	12	8	6	5
0,02	54,4	42,4	26,8	21,2	14,4	10,6	7,78	6,36
0,03	57,1	45,0	30,0	23,1	16,16	12,12	9,24	6,93
0,04	59,5	47,0	32,0	25,0	17,5	13,0	10,0	8,0
0,05	61,3	48,7	33,2	26,1	18,6	13,9	10,9	8,7
0,06	62,8	50,1	34,4	27,2	19,5	14,7	11,5	9,3
0,07	64,1	51,3	35,5	28,2	20,4	15,5	12,2	9,9
0,08	65,2	52,4	36,4	29,0	21,1	16,1	12,8	10,3
0,10	67,2	54,3	38,1	30,6	22,4	17,3	13,8	11,2
0,12	68,8	55,8	39,5	32,6	23,5	18,3	14,7	12,1
0,14	70,3	57,2	40,7	33,0	24,5	19,1	15,4	12,8
0,16	71,5	58,4	41,8	34,0	25,4	19,9	16,1	13,4
0,18	72,6	59,5	42,7	34,8	26,2	20,6	16,8	14,0
0,20	73,7	60,4	43,6	35,7	26,9	21,3	17,4	14,5
0,22	74,6	61,3	44,4	36,4	27,6	21,9	17,9	15,0
0,24	75,5	62,1	45,2	37,1	28,3	22,5	18,5	15,5
0,26	76,3	62,9	45,9	37,8	28,8	23,0	18,9	16,0
0,28	77,0	63,6	46,5	38,4	29,4	23,5	19,4	16,4
0,30	77,7	64,3	47,2	39,0	29,9	24,0	19,9	16,8
0,35	79,3	65,8	48,6	40,3	31,1	25,1	20,9	17,8
0,40	80,8	67,1	49,8	41,5	32,2	26,0	21,8	18,6
0,45	82,0	68,4	50,9	42,5	33,1	26,9	22,6	19,4
0,50	83,1	69,5	51,9	43,5	34,0	27,8	23,4	20,1
0,55	84,1	70,4	52,8	44,4	34,8	28,5	24,0	20,7
0,60	85,3	71,4	53,7	45,2	35,5	29,2	24,7	21,3
0,65	86,0	72,2	54,5	45,9	36,2	29,8	25,3	21,9
0,70	86,8	73,0	55,2	46,6	36,9	30,4	25,8	22,4
0,75	87,6	73,7	55,9	47,3	37,5	30,9	26,35	22,9
0,80	88,3	74,5	56,5	47,9	38,0	31,5	26,8	23,4
0,85	88,1	74,7	56,8	48,2	38,4	31,8	27,15	23,8
0,90	89,4	75,5	57,5	48,8	38,9	32,3	27,6	24,1
0,95	90,1	76,3	58,2	49,4	39,5	32,75	28,10	24,6

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.00	90.9	76.9	58.8	50.0	40.0	33.3	28.6	25.0
1.10	92.0	78.0	59.8	50.9	40.9	34.1	29.3	25.7
1.20	93.1	79.0	60.7	51.8	41.6	34.8	30.0	26.3
1.30	94.0	79.9	61.5	52.5	42.3	35.5	30.6	26.9
1.40	94.6	80.7	62.2	53.2	42.9	36.1	31.2	27.4
1.50	95.7	81.5	62.9	53.9	43.6	36.7	31.7	28.0
1.60	96.4	82.2	63.5	54.4	44.1	37.2	32.2	28.4
1.70	97.3	82.9	64.3	55.1	44.7	37.7	32.7	28.9
1.80	97.8	83.3	64.4	55.4	45.1	38.0	33.0	29.2
1.90	98.5	86.3	65.3	56.0	45.6	38.45	33.4	29.7
2.00	99.3	84.8	65.9	56.6	46.0	38.9	33.8	30.0
2.50	101.1	87.3	68.1	58.7	47.9	40.6	35.4	31.5
3.00	104.4	89.4	69.8	60.3	49.3	41.9	36.6	32.5
3.50	106.4	91.1	71.3	61.5	50.3	42.8	37.4	33.3
4.00	108.1	92.6	72.5	62.5	51.2	43.6	38.1	33.9
5.00	111.0	95.1	74.2	64.1	52.4	44.6	39.9	34.6
6.00	–	–	–	–	53.1	45.1	39.3	34.90
7.00	–	–	–	–	53.5	45.3	39.40	34.9



Hình 4.4: Biểu đồ để xác định hệ số Sêzi theo công thức Pavlôpxki

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

2. Công thức Agroxkin I. I. [1]

$$C = 17{,}72(K + 1gR) \tag{4-33}$$

trong đó: R - bán kính thủy lực (m);

K - hệ số phụ thuộc vào độ nhám của thành kênh.

Hệ số K liên hệ với hệ số nhám n bằng hệ thức:

$$K = \frac{0{,}056}{n} \tag{4-34}$$

Các công thức Pavlôpxki, Maning, Agrôxkin đều thuộc về chuyển động của nước trong khu vực bình phương sức cản.

Trong những năm gần đây đã xuất hiện những công thức tổng quát của hệ số Sêzi có thể áp dụng cho mọi chất lỏng Niutơn đồng nhất trong khu vực chuyển động rối (trong đó có khu vực bình phương sức cản).

3. Công thức A. Đ. Altsul

$$C = 20\lg\frac{R}{\varepsilon + \frac{0{,}385\nu}{\sqrt{gRi}}} \tag{4-35}$$

trong đó: ε - độ nhám tuyến tính dẫn xuất;

ν - hệ số độ nhớt động học của chất lỏng;

g - gia tốc rơi tự do.

Đối với nước lạnh ($\nu = 0{,}01$ cm^2/s), công thức (4-35) có dạng:

$$C = 20\lg\frac{R}{\varepsilon + \frac{0{,}004}{\sqrt{Ri}}} \tag{4-36}$$

Trong công thức này R và ε đo bằng mm, C đo bằng m$^{0.5}$/s.

Các giá trị của độ nhám tuyến tính dẫn xuất ε được ghi trong bảng 4.8 và 4.8a. Các giá trị C theo công thức (4-36) - trong bảng 4.8b (đối với mô hình và lòng dẫn nhám ít).

Bảng 4.8. Các giá trị độ nhám tuyến tính dẫn suất ε trong công thức (4-36)

Đặc trưng bề mặt	ε (mm)
1	*2*
Mặt rất nhẵn (đánh vecni, tráng men v.v...)	0(0 - 0,1)
Trát xi măng sạch	0,04(0,02 - 0,06)
Máng kim loại có mặt trong nhẵn	0,10(0,02 - 1,00)

[1] Agroxkin I. I. và các tác giả khác. Thủy lực, M., "Năng lượng", 1964.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

1		2
Máng gỗ:	bằng ván bào	0,30(0,03 - 1,50)
	bằng ván không bào	0,50(0,08 - 2,00)
Bằng bêtông		0,30(0,08 - 1,25)
Xây gạch		0,50(0,080 - 1,25)
Đá đã gọt vuông vắn		0,50(0,12 - 1,25)
Tường đất		5(1 - 50)
Xây đá dăm		10(0,5 - 20)
Đá rải đường		20(15 - 30)
Kênh đục trong đá		30(3 - 80)

Ghi chú: Bảng ghi ra những giá trị thường gặp nhất của ε trong điều kiện trung bình: trong dấu ngoặc chỉ khả năng dao động có thể xảy ra của ε.

Bảng 4.8a. Các giá trị độ nhám tuyến tính dẫn xuất theo công thức (4-36) đối với các mô hình trong phòng thí nghiệm[1]

Đặc trưng của thành, vách	ε (mm)
1	2
Mặt ngoài đặc biệt trơn (đánh vecni, tráng men v.v...) các vách trơn, có quét sơn	0 - 0,010
Mặt ngoài bằng các tấm bằng ximăng pooclan và cát với tỉ lệ 1 : 3 được đúc trong khuôn gỗ dán tấm dầu	0,006 - 0,015
Mặt ngoài bằng các blôc bêtông phẳng mịn	0,015 - 0,030
Lớp áo bằng ximăng sạch; phiến mỏng	0,02 - 0,030
Vách trơn, phủ sơn có rắc cát với đường kính hạt 0,7mm lên trên mặt khi đang còn ướt, sau đó lại sơn tiếp	0,06 - 0,120
Vách nhẵn, phủ sơn dầu, khi còn ướt được rải một lớp cát có đường kính 0,7mm	0,16 - 0,30
Vách nhẵn, phủ sơn dầu, khi còn ướt rắc lên một lớp cát có đường kính hạt 2mm.	0,40 - 0,70

[1] V. I. Kalisun P. P. Pangunôp. Chuyển động của các chất lỏng đồng nhất và không đồng nhất. Tuyển tập các công trình của MIXI mang tên Quybixep, 1968. T.1, N° 55.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 4.8b. Các giá trị của hệ số Sèzi tính theo công thức (4-36)

Giá trị của ε (mm)	Bán kính thủy lực R (mm)	Độ dốc						
		0.000025	0,000050	0,0001	0,0002	0,0004	0,001	0,01
0,00	50	53,0	56,0	59,0	61,0	65,0	69,0	79,0
	100	62,0	65,0	68,0	71,0	74,0	78,0	88,0
	200	71,0	74,0	77,0	88,0	83,0	87,0	97,0
	300	76,2	79,3	82,0	85,2	88,0	92,1	102,2
	500	83,0	86,0	89,0	92,0	95,1	99,0	109,0
	1 000	92,0	98,6	98,0	101,0	104,0	108,0	118,0
	2 000	101,0	104,0	107,0	110,0	113,0	117,0	127,0
	3 000	106,3	109,0	112,0	115,3	118,2	122,0	132,6
	5 000	113,0	116,0	118,8	122,0	125,0	129,0	138,4
0,04	50	50,3	52,4	54,2	56,0	57,2	58,7	60,8
	100	58,5	60,3	62,0	63,4	64,4	65,5	67,1
	200	66,3	68,0	69,4	70,5	71,4	72,2	73,4
	300	70,8	72,3	73,6	74,6	75,2	76,0	77,0
	500	76,4	77,7	78,8	79,6	80,2	80,9	81,5
	1 000	83,4	84,6	85,6	86,1	85,6	87,2	87,7
	2 000	90,9	91,8	92,1	92,6	93,0	93,4	93,8
	3 000	94,9	95,6	96,0	96,5	96,8	97,0	97,4
0,10	50	47,4	48,9	50,1	51,0	51,8	52,6	53,5
	100	55,0	56,1	57,1	57,8	58,4	59,0	59,6
	200	60,2	63,0	63,8	64,5	64,8	65,4	65,8
	300	66,3	67,0	67,8	68,2	68,5	69,0	69,4
	500	71,3	72,0	72,6	73,0	73,2	73,4	73,8
	1 000	78,0	78,6	79,0	79,2	79,4	79,6	79,8
0,30	50	41,6	42,4	42,9	43,4	43,6	43,9	44,2
	100	48,4	49,0	49,4	49,6	50,0	50,1	50,4
	200	55,0	55,4	55,7	56,0	56,1	56,2	56,4
	300	58,8	59,1	59,2	59,6	59,6	59,8	60,0
	500	63,4	63,8	63,8	64,1	64,2	64,2	64,3
	1 000	69,9	70,0	70,3	70,3	70,3	70,3	70,4

Khi thỏa mãn điều kiện: $\sqrt{Ri} \geq 0,004$ thì thay cho công thức (4-36) có thể sử dụng hệ thức đơn giản hơn:

$$C = 20 \lg \frac{R}{\varepsilon} \qquad (4\text{-}37)$$

Hệ thức này đúng với các lòng dẫn hoàn toàn nhám.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Khi tuân theo điều kiện: $\sqrt{Ri} \le 0,0005$ thì thay cho công thức (4-36) có thể sử dụng công thức đơn giản hơn áp dụng được cho các lòng dẫn trơn thủy lực:

$$C = 20 \lg R\sqrt{Ri} + 48 \qquad (4\text{-}38)$$

Có thể viết công thức (4-36) để dùng trong các tính toán gần đúng dưới dạng:

$$C = 25\left[\frac{R}{(80n)^6 + \frac{0,025}{\sqrt{Ri}}}\right]^{\frac{1}{6}} = 25\left[\frac{R}{k_{td} + \frac{0,025}{\sqrt{Ri}}}\right]^{\frac{1}{6}} \qquad (4\text{-}39)$$

trong đó: R - tính bằng mm;

C - tính bằng $m^{0,5}/s$;

k_{td} - tính bằng mm.

Hệ thức gần đúng sau đây dùng cho lòng dẫn của sông trên nền cát sỏi và ở trạng thái ổn định[1]:

$$C = 20 \lg \frac{2}{100i} \qquad (4\text{-}40)$$

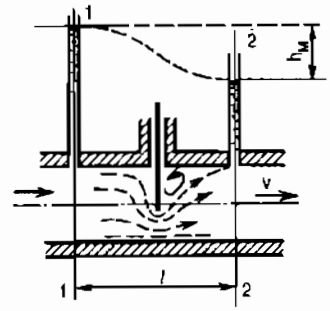
4.4. SỨC CẢN THỦY LỰC CỤC BỘ

a) Sức cản cục bộ trong các đường ống có áp

Sức cản cục bộ được tạo nên bởi các bộ phận định hình, các phụ kiện và các thiết bị khác của lưới đường ống; chúng gây ra sự thay đổi về giá trị và phương của vận tốc chuyển động của chất lỏng trên những đoạn riêng rẽ của đường ống, điều đó luôn luôn có liên quan đến sự xuất hiện tổn thất cột nước bổ sung.

Tổn thất cột nước do sức cản cục bộ h_c xác định theo công thức Vâyxbăc.

$$h_c = \zeta \frac{v^2}{2g} \qquad (4\text{-}41)$$



Hình 4.5: Xác định tổn thất cột nước do các sức cản cục bộ

trong đó:

v - vận tốc trung bình của mặt cắt nằm ở phía hạ lưu dòng chảy sau chỗ có sức cản cục bộ (ở mặt cắt 2-2, hình 4.5);

ζ - hệ số sức cản cục bộ.

Chú thích: Đặc biệt, nếu như không lấy vận tốc trong công thức (4-41) bằng vận tốc ở trước chỗ xảy ra tổn thất cục bộ thì nhất thiết phải nói rõ điều đó.

---

[1] A. Đ. Altsul. Về công thức hệ số Sêzi của sông. Tạp chí "Xây dựng thủy công", 1961, N°.7.

https://tieulun.hopto.org

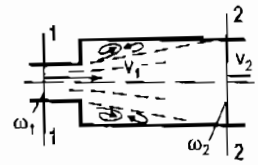
www.thuvien247.net

Trị số của hệ số sức cản cục bộ phụ thuộc vào hình dạng hình học của sức cản cục bộ và số Râynôn của dòng chảy khi đi qua sức cản cục bộ. Ảnh hưởng của số Re của dòng nước hoặc các chất lỏng ít nhớt khác chỉ xuất hiện trong những trường hợp có sự thay đổi từ trị số hoặc phương của vận tốc (ví dụ như có đoạn uốn khúc tròn, lối vào thuận) hoặc có mặt cắt đi qua với kích thước nhỏ. Dưới đây là các giá trị của hệ số ζ đối với các trường hợp quan trọng nhất mà các kĩ sư thủy lợi hay gặp trong thực tiễn.

1. Đường ống mở rộng đột ngột (hình 4.6)

Tổn thất cột nước do đường ống mở rộng đột ngột được xác định theo công thức Boocđa:

$$h_{mrđn} = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} = \zeta_{mrđn} \frac{v_2^2}{2g} \qquad (4\text{-}42)$$



Hình 4.6: *Đường ống mở rộng đột ngột*

trong đó:

$$\zeta_{mrđn} = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1\right)^2 \qquad (4\text{-}43)$$

Trị số của hệ số $\zeta_{mrđn}$ tính theo công thức (4-43) ghi trên bảng 4.9.

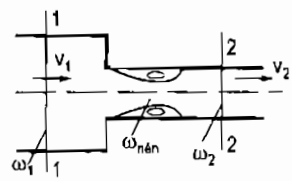
Bảng 4.9. Các giá trị của hệ số $\zeta_{mrđn}$ khi đường ống mở rộng đột ngột

ω_2/ω_1	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
$\zeta_{mrđn}$	81	64	49	36	25	16	9	4	1	0

2. Đường ống thu hẹp đột ngột (hình 4.7)

Hệ số sức cản khi đường ống thu hẹp đột ngột xác định theo công thức:

$$\zeta_{chđn} = \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1\right)^2 \qquad (4\text{-}44)$$



Hình 4.7: *Đường ống thu hẹp đột ngột*

trong đó: ε - hệ số co hẹp dòng bằng tỷ số giữa diện tích của mặt cắt của dòng bị co hẹp ω_{ch} và diện tích của chỗ ống hẹp ω_2 (hình 4.7), tức là:

$$\varepsilon = \frac{\omega_{ch}}{\omega_2} \qquad (4\text{-}45)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Giá trị của hệ số co hẹp của luồng chảy ε phụ thuộc vào mức độ co hẹp của dòng n (tỉ số giữa diện tích của mặt cắt ống hẹp với ống rộng):

$$n = \frac{\omega_2}{\omega_1} \tag{4-46}$$

và có thể xác định theo công thức lý thuyết của N. E. Giucopxki:

$$\varepsilon = \frac{n}{n + 2\dfrac{2\theta}{tg2\theta}} \tag{4-47}$$

trong đó: n được xác định theo biểu thức:

$$n = tg\theta\left(1 + \frac{2}{\pi}\,\frac{2\theta}{tg2\theta}\right)$$

hoặc theo công thức gần đúng A. Đ. Altsul:

$$\varepsilon = 0,57 + \frac{0,043}{1,1 - n} \tag{4-47a}$$

Giá trị của ε tính theo (4-47) được ghi trong bảng 4.10, còn giá trị của ζ trong bảng 4.11.

Bảng 4.10. Các giá trị của hệ số co hẹp luồng chảy theo công thức 4-47

ε	0,611	0,612	0,616	0,622	0,633	0,644	0,662	0,687	0,722	0,781	1,00
n	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

Bảng 4.11. Các giá trị của hệ số ζ_{dt} khi thu hẹp đột ngột đường ống theo công thức (4-44)

ζ_{dt}	0,41	0,40	0,38	0,36	0,34	0,32	0,30	0,27	0,20	0,16	0
$n = \frac{\omega_2}{\omega_1}$	0.0	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,9	1,0

Để xác định hệ số ζ_{dt} cũng có thể sử dụng công thức của I. E. Identsich[1]

$$\xi_{dt} = 0,5(1 - n) \tag{4-48}$$

Ghi chú: Các giá trị nêu ở trên về hệ số sức cản khi mở rộng và thu hẹp đột ngột của đường ống chỉ đúng cho khu bình phương sức cản. Ảnh hưởng của hệ số nhớt đối với đại lượng sức cản cục bộ được xét trong tiết 12 ở dưới.

---

[1] I. E. Identsich - sách đã dẫn, xuất bản năm 1954.

https://tieulun.hopto.org

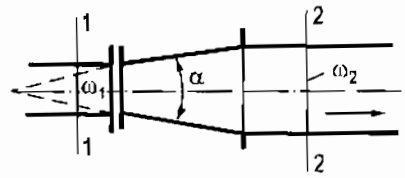
www.thuvien247.net

3. Đường ống mở rộng dần (hình 4.8)

Hệ số sức cản đối với đoạn ống chuyển tiếp hình nón mở rộng dần (ống khuếch tán) phụ thuộc vào góc của hình nón và tỉ số các đường kính. Đối với các nón ngắn, hệ số sức cản đối với mặt cắt rộng hơn có thể tìm được theo công thức[1]:

$$\zeta_{mrd} = k_{mrd}\left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1\right)^2 \qquad (4\text{-}49)$$

trong đó: k_{mrd} - hệ số chuyển tiếp mở rộng dần. Các giá trị của nó được ghi trong bảng 4.12, tùy thuộc vào góc mở của nón.



Hình 4.8: *Đường ống mở rộng dần*

Bảng 4.12. Các giá trị trung bình của hệ số mở rộng dần k_{mrd} của các ống khuếch tán

α (độ)	8	10	12	15	20	25
k_{mrd}	0,14	0,16	0,22	0,30	0,42	0,62

Trong trường hợp các nón dài, khi cần phải tính đến tổn thất dọc đường, có thể xác định hệ số sức cản theo công thức P. G. Kixêlep.

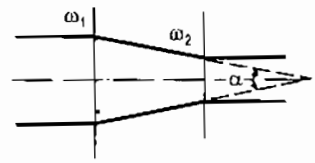
$$\zeta_{mrd} = k_{mrd}\left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1\right)^2 + \frac{\lambda_{tb}}{8tg\frac{\alpha}{2}} \times \left[\left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^2 - 1\right] \qquad (4\text{-}50)$$

trong đó: $\lambda_{tb} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2}$ (λ_1 và λ_2 - hệ số ma sát thuỷ lực tương ứng đối với ống hẹp và rộng).

4. Đường ống thu hẹp dần (hình 4.9)

Hệ số sức cản của các ống chuyển tiếp hình nón thu hẹp (ống thu hẹp) phụ thuộc vào góc của nón và tỉ số giữa các đường kính. Đối với các nón ngắn, hệ số sức cản có thể tìm được theo công thức[1]:

$$\zeta_{thd} = k_{thd}\left(\frac{1}{\varepsilon} - 1\right)^2 \qquad (4\text{-}51)$$



Hình 4.9: *Đường ống thu hẹp dần*

trong đó:

ε - được xác định như đã chỉ dẫn ở trên;

---

[1] A. Đ. Altsul và V. I. Kalixun. Sức cản thủy lực của các đường ống. NXBXD. M. 1964.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

k_{thd} - hệ số chuyển tiếp khi thu hẹp dần có giá trị cho trong bảng 4.13, phụ thuộc vào góc α của nón. Trường hợp các nón dài cần phải tính đến cả tổn thất dọc đường, tức là:

$$\zeta_{thd} = k_{thd}\left(\frac{1}{\varepsilon} - 1\right)^2 + \frac{\lambda}{8tg\frac{\alpha}{2}}\left(1 - \frac{\omega_2^2}{\omega_1^2}\right) \qquad (4\text{-}52)$$

Bảng 4.13. Các giá trị trung bình của hệ số k_{thd} của các ống thu nhỏ (A. Đ. Altsul và V. I. Kalixun)

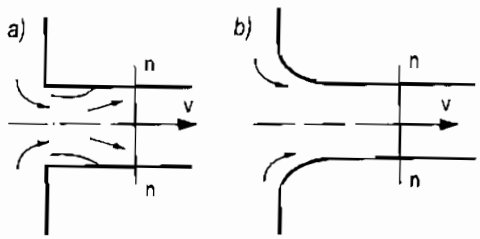
α (độ)	10	20	40	60	80	100	120
k_{thd}	0,4	0,25	0,20	0,20	0,30	0,40	0,60

5. Từ hồ chứa đi vào ống

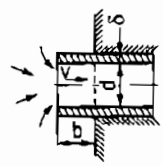
- Lối vào ống theo hình 4.10. Khi cạnh mép sắc (hình 4.10a) thì $\zeta = 0,50$; khi mép cạnh tròn (hình 4.10b) và lối vào thuận $\zeta = 0,20$; lối vào rất thuận $\zeta = 0,03 \div 0,06$.

- Lối vào theo hình 4.11. Hệ số ζ phụ thuộc vào các tỉ số δ/d và b/d, các giá trị bằng số của nó được ghi trong bảng 4.14.

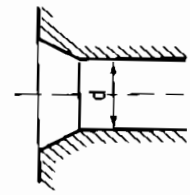
- Lối vào theo hình 4.12. $\zeta = 0,15$.



Hình 4.10: *Đi vào ống*



Hình 4.11: *Lối vào ống*



Hình 4.12: *Lối ra ống*

Bảng 4.14. Các giá trị của hệ số ζ khi lối vào thuận như hình 4.11*

$\frac{\delta}{d}$	b/d				
	0	0,002	0,010	0,05	0,5
0	0,5	0,57	0,63	0,80	1,00
0,008	0,5	0,53	0,58	0,74	0,88
0,016	0,5	0,51	0,53	0,58	0,77
0,024	0,5	0,50	0,51	0,53	0,68
0,030	0,5	0,50	0,51	0,52	0,61
0,050	0,5	0,50	0,50	0,50	0,53

* L. E. Indentsich. Sách đã dẫn. 1961.

https://tieulun.hopto.org

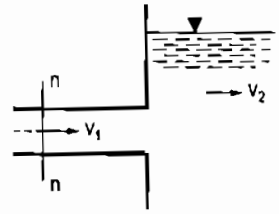
www.thuvien247.net

6. Lối ra từ ống vào bể chứa có kích thước lớn, vào sông v.v... (hình 1.13)

Hệ số ζ tính với mặt cắt của ống. Cho rằng $v_2 = 0$, từ công thức Boocda (4-42) ta có:

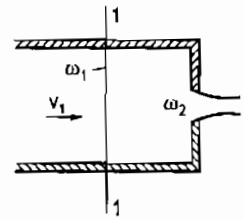
$$h_{ra} = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} = \frac{v_1^2}{2g} \qquad (4\text{-}53)$$

tức là ζ = 1.



Hình 4.13: *Lối ra từ ống vào bể chứa*

Lối ra từ ống qua màng chắn ở cuối đường ống (hình 4.14). Trị số của hệ số sức cản phụ thuộc vào tỉ số giữa diện tích của lỗ ra ω_2 với diện tích của ống ω_1 (bảng 4.15).



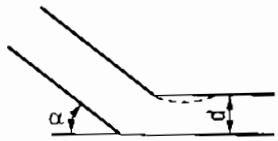
Hình 4.14: *Lối ra từ ống qua màng chắn*

Bảng 4.15. Các giá trị của hệ số ζ khi chảy ra từ ống qua màng chắn

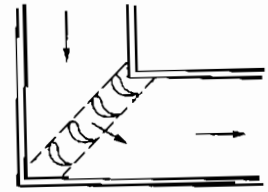
$\frac{\omega_2}{\omega_1}$	0,11	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
ζ	268	66,5	28,9	15,5	9,81	5,80	3,70	2,38	1,5

7. Ống ngoặt

a) Ống tiết diện tròn ngoặt đột ngột với góc α (hình 4.15)



Hình 4.15: *Ống tiết diện tròn ngoặt đột ngột*



Hình 4.16: *Ống ngoặt đột ngột 90°*

Hệ số sức cản được xác định theo đề nghị của A. Đ. Altsul bằng công thức:

$$\zeta_\alpha = \zeta'_{90}(1 - \cos\alpha) \qquad (4\text{-}54)$$

trong đó: ζ'_{90} - giá trị của hệ số sức cản của ống ngoặt đột ngột với góc 90° được cho trong bảng 4.16.

Bảng 4.16. Các giá trị của hệ số ζ'_{90° khi ống ngoặt ngoặt với góc 90°

d (mm)	20	25	34	39	49
ζ'_{90°	1,7	1,3	1,1	1,0	0,83

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Đối với ống ngoặt 90° nhưng có các cánh hướng dòng theo sơ đồ trên hình 4.16 có thể lấy trung bình $\zeta = 2,25 - 0,40$ tùy theo hình dạng cánh và khoảng cách giữa chúng.

b) Ống tiết diện tròn ngoặt dần dần (khuỷu tròn, đoạn ống dẫn đi (hình 4.17)

Hệ số sức cản ζ_α được đề nghị tìm theo công thức:

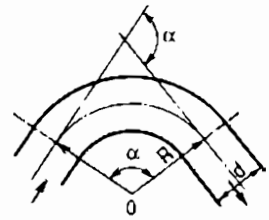
$$\zeta_\alpha = \zeta_{90}.a \qquad (4\text{-}55)$$

trong đó:

ζ_{90} - hệ số sức cản khi ngoặt 90°;

a - hệ số phụ thuộc vào góc ngoặt.

Hệ số ζ_{90} phụ thuộc vào R/d (tỉ số giữa bán kính góc ngoặt và đường kính ống) và vào hệ số ma sát thuỷ lực của đường ống λ và có thể xác định bằng công thức của A. D. Altsul.



Hình 4.17: Ống tiết diện tròn (khuỷu tròn) ngoặt dần dần

$$\zeta_{90^\circ} = \left[0,20 + 0,001(100\lambda)^8\right]\sqrt{\frac{d}{R}} \qquad (4\text{-}56)$$

hoặc theo bảng 4.17.

Bảng 4.17. Các giá trị của hệ số ζ_{90° khi ngoặt dần dần với góc 90°

(theo số liệu thí nghiệm)

Dạng ống	R/d				
	1	2	4	6	10
Trơn	0,22	0,14	0,11	0,08	0,11
Nhám	0,52	0,28	0,23	0,18	0,20
Theo số liệu Crighe	0,80	0,48	0,30	0,32	0,42

Giá trị của hệ số a khi $\alpha < 90^\circ$ có thể xác định theo A. Y. Milôvich:

$$a = \sin\alpha \qquad (4\text{-}57)$$

khi $\alpha > 90^\circ$ theo công thức B. B. Nicraxôp[1]:

$$a = 0,7 + 0,35\frac{\alpha}{90^\circ} \qquad (4\text{-}58)$$

Các giá trị của hệ số a theo số liệu thí nghiệm của Crigher ghi ra trong bảng 4.18 phụ thuộc vào góc α.

[1] B. B. Nicraxôp, Thủy lực, M., "Chế tạo máy", 1967.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 4.18. Các giá trị của a phụ thuộc vào góc tâm α của ống ngoặt

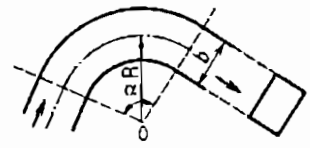
α (độ)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120	140	160	180
a	0,4	0,55	0,65	0,75	0,83	0,88	0,95	1,00	1,05	1,13	1,20	1,27	1,33

Những công thức trên [trừ công thức (4-56)] mới chỉ xét đến ảnh hưởng của độ cong của dòng chảy khi nó chuyển động trong phạm vi của chỗ ngoặt. Tổn thất cột nước do ma sát dọc đường của chỗ ngoặt cần được xác định riêng cũng theo những công thức như đối với đường ống thẳng bằng cách lấy chiều dài tính toán bằng chiều dài của đường trục ống ngoặt.

c) Ống ngoặt có mặt cắt chữ nhật (hình 4.18)

Để xác định hệ số ζ_u có thể sử dụng công thức (4-55), trong đó:

$$\zeta_{90^0} = 0,124 + 3,1\left(\frac{b}{2R}\right)^{3,5} \qquad (4\text{-}59)$$



Hình 4.18: Ống ngoặt có mặt cắt chữ nhật

Các giá trị ζ_{90^0} tính theo công thức này được ghi trong bảng 4.19

Bảng 4.19. Các giá trị của hệ số ζ_{90^0} theo công thức (4-59)

$\frac{b}{2R}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
	0,12	0,14	0,18	0,50	0,40	0,64	1,02	1,55	2,27	3,23

8. Màng chắn trong ống hình trụ

Khi màng chắn đặt ở lối vào chỗ chuyển tiếp sang đường ống có đường kính khác (hình 4.19), thì:

$$\zeta_{ống} = \left(\frac{1}{n\varepsilon} - \frac{1}{m}\right)^2 \qquad (4.60)$$

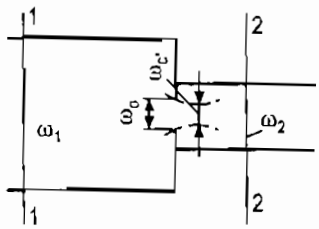
trong đó: $\zeta_{ống}$ - hệ số sức cản thuộc về mặt cắt ω_2:

$$m = \frac{\omega_2}{\omega_1} \qquad (4\text{-}61)$$

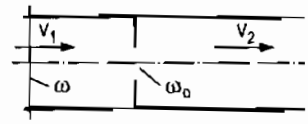
$$n = \frac{\omega_o}{\omega_1} \qquad (4\text{-}62)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 4.19: Màng chắn trên đường ống tại chỗ thay đổi đường kính



Hình 4.20: Màng chắn trên đường ống với đường kính không đổi

Khi có màng chắn trên đường ống với đường kính không đổi (hình 4.20) (m = 1), ta có:

$$\zeta_{\text{ống}} = \left(\frac{1}{n\varepsilon} - 1\right)^2 = \left(\frac{\omega}{\omega_0 \varepsilon} - 1\right)^2 \qquad (4.63)$$

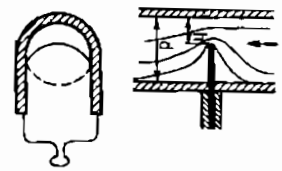
Các giá trị của $\zeta_{\text{ống}}$ đối với n khác nhau ghi trong bảng 4.20. ε xác định theo công thức (4-47a).

Bảng 4.20. Các giá trị của hệ số $\zeta_{\text{ống}}$ khi có màng chắn trong đường ống tính theo công thức (4-63)

$n = \frac{\omega_0}{\omega_1}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\zeta_{\text{ống}}$	234	49,5	18,8	8,8	4,4	2,34	1,14	0,55	0,185	0

Khi màng chắn ở cuối đường ống, tức là khi $m \to \infty$ (hình 4.14)

$$\zeta_{\text{ống}} = \left(\frac{1}{n\varepsilon}\right)^2 \qquad (4\text{-}64)$$



Hình 4.21: Khóa nước

9. Khóa nước

Hệ số sức cản phụ thuộc vào tỉ số $\frac{d-h}{d} = \frac{S}{d}$ (hình 4.21), tức là vào độ mở (bảng 4.21).

Bảng 4.21. Các giá trị của hệ số ζ cho khóa nước có độ mở khác nhau; ω_3 - diện tích mặt cắt ống (theo số liệu thí nghiệm)

$\frac{d-h}{d}$	0	1/8	2/8	3/8	4/8	5/8	6/8	7/8
$\bar{\omega}_3$	1,000	0,948	0,856	0,740	0,609	0,466	0,315	0,159
ζ	0,00	0,07	0,26	0,81	2,06	5,52	17,0	97,8

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Các giá trị lí thuyết ζ cho khóa nước có thể tìm theo công thức (4-63) (xem bảng 4.20).

Đối với các khóa nước Ludlô với độ mở toàn phần ζ = 0,11 ÷ 0,12.

10. Van

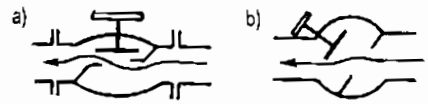
Khi mở hoàn toàn, tùy theo kết cấu, nên lấy:

a) Đối với van nước có tay vặn thẳng theo sơ đồ hình 4.22a:

$$\zeta = 3 \div 5,5$$

b) Đối với van nước có tay vặn đặt nghiêng theo hình 4.22b:

$$\zeta = 1,4 \div 1,85$$



Hình 4.22: *Khóa nước*

11. Van đĩa tiết lưu, quay được (hình 4.23)

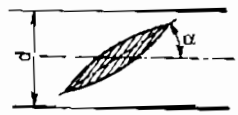
Hệ số sức cản ζ khi van mở một phần sẽ phụ thuộc vào góc α và có thể lấy theo bảng 4.22.

Bảng 4.22. Các giá trị của hệ số ζ đối với van đĩa

α (độ)	5	10	15	20	25	30	35
ζ	0,24	0,52	0,90	1,54	2,51	3,91	6,22

α (độ)	40	45	50	55	60	65	70	90
ζ	10,8	18,7	32,5	58,8	118	256	751	∞

Khi mở hoàn toàn ζ sẽ phụ thuộc vào tỉ số giữa độ dày lớn nhất a của van và đường kính d (hình 4.24).



Hình 4.23: *Van hình đĩa*



Hình 4.24: *Van đĩa khi mở hoàn toàn*

Giá trị của hệ số ζ cho trong bảng 4.23. Đối với van đĩa kiểu "Butterfly" trong các ống đường kính lớn, khi mở hoàn toàn, có thể tìm ζ theo công thức:

$$\zeta = \frac{a}{d} \qquad (4\text{-}65)$$

Bảng 4.23. Các giá trị của hệ số ζ đối với van đĩa khi mở hoàn toàn

a/d	0,10	0,15	0,20	0,25
ζ	0,05 - 0,10	0,10 - 0,16	0,17 - 0,24	0,25 - 0,35

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Khi mở hoàn toàn và không có những chỉ dẫn về đặc điểm cấu tạo, coi như $\zeta = 0,10$.

12. Vòi nước (hình 4.25)

Hệ số ζ phụ thuộc vào góc quay α và có thể lấy theo bảng 4.24.

Bảng 4.24. Các giá trị của hệ số ζ đối với vòi nước

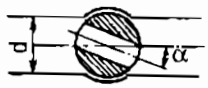
α (độ)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
ζ	0,05	0,29	0,75	1,56	3,10	5,47	9,68	17,3	31,2	52,6	10,6

13. Van quay (bản lề) (hình 4.26)

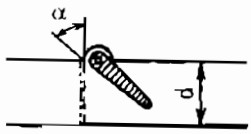
Trị số α có thể lấy theo bảng 4.25 tùy theo góc α

Bảng 4.25. Các giá trị của hệ số ζ đối với van quay

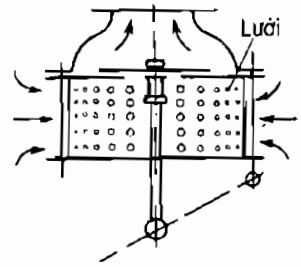
α (độ)	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15
ζ	1,7	2,3	3,2	4,6	6,6	9,5	14	20	30	42	62	90



Hình 4.25: Vòi nước



Hình 4.26: Van quay



Hình 4.27: Van hút

14. Các van ở ống hút và van nhận nước có lưới, các van ngược

Các giá trị ζ đối với các van ống hút có lưới theo sơ đồ hình 4.27 tùy theo kích thước đường kính d của ống cần lấy theo bảng 4.26. Khi không nói rõ kết cấu, lấy $\zeta = 5 \div 10$.

Bảng 4.26. Các giá trị của hệ số ζ đối với các van hút

	d (mm)											
	40	50	75	100	150	200	250	300	350	400	500	750
Van và lưới	12	10	8,5	7,0	6,0	5,2	4,4	3,7	3,4	3,1	2,5	1,6
Van ngược	–	18,0	11,0	8,0	6,5	5,5	4,5	3,5	3,0	2,5	1,8	–

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

15. Van hình kim (cửa van Giônxơn)

Hệ số ζ có thể tìm theo công thức:

$$\zeta = \frac{0,123}{\sqrt{d}} \qquad (4\text{-}66)$$

trong đó: d - đường kính tại đầu nhỏ của van. Vận tốc trong công thức Vâyxbăc (4-42) cũng là vận tốc tính với mặt cắt này.

Đối với các van hình kim có truyền động lực, hệ số ζ cho trong bảng 4.27[1]

Bảng 4.27. Các giá trị của hệ số ζ đối với các van hình kim (theo X. I. Nalimôp)

	Độ mở tương đối							
	1	7/8	3/4	5/8	1/2	3/8	1/4	1/8
Mở theo chiều dòng chảy	0,11	0,13	0,32	0,68	1,60	4,95	13,8	24,1
Mở ngược dòng chảy	0,18	0,26	0,56	1,23	3,00	4,95	13,8	49,0

16. Mối nối trong đường ống

Độ tăng sức cản do các mối nối gây ra (hình 4.28) có thể xác định theo công thức[2]:

$$K = 1 + \frac{\zeta_{mn}}{\lambda}\frac{d}{l} \qquad (4\text{-}67)$$

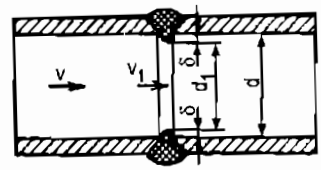
trong đó:

K = λ_1/λ - độ tăng tương đối hệ số ma sát thủy lực của đường ống (tỉ số giữa hệ số ma sát thủy lực của đường ống có và không có mối nối);

l - khoảng cách giữa các khớp (chiều dài ống);

d - đường kính ống;

λ - hệ số ma sát thủy lực không có mối nối.



***Hình 4.28:** Mối nối trong đường ống*

Giá trị của hệ số ζ_{mn} trong (4-67) có thể xác định theo công thức[3]:

$$\zeta_{mn} = 13,8\left(\frac{\delta}{d}\right)^{3/2} \qquad (4\text{-}68)$$

trong đó: δ - chiều cao tương đương của mối hàn.

Các giá trị của hệ số sức cản mối hàn có thể lấy theo bảng 4.28.

---

[1] Môxkôp M. A., Sổ tay thủy lực. NXB Xây dựng, 1954.

[2] Altsul A. Đ và Kalisun B. I., Sức cản thủy lực của đường ống. NXBXD, 1964.

[3] Altsul A. Đ. và Kalisun B. I., Sách đã dẫn.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 4.28. Các giá trị của hệ số ζ_{mn} đối với các dạng khác nhau của mối nối hàn [1]

Dạng mối hàn	Đường kính ống (mm)							
	200	300	400	500	600	700	800	900
Có vòng đệm (δ = mm)	0,06	0,03	0,018	0,013	0,009	0,007	0,006	0,005
Hàn điện và tiếp xúc (δ = 3mm)	0,026	0,0135	0,009	0,006	0,004	0,0028	0,0023	0,002

17. Các lưới

a) Lưới không có van ngược ở cửa vào ống trong trường hợp không có chỉ dẫn về dạng của mắt lưới:

$$\zeta = (0,675 \div 1,575)\frac{F}{F_{ống}} \qquad (4\text{-}69)$$

trong đó: $F_{ống}$ - diện tích tiết diện ống;

F - diện tích tổng cộng các lỗ. Lấy sơ bộ $\zeta_{lb} = 5 \div 6$.

b) Lưới có các mắt vuông (hình 4.29), hệ số sức cản có thể tìm được theo công thức[2]:

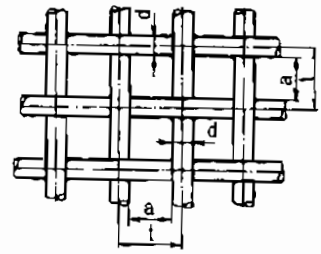
$$\zeta = \frac{92 - 78m}{Re_a} + 0,7(1,05 - m) \qquad (4\text{-}70)$$

trong đó:

m - hệ số thoát của lưới;

$m = a^2/t^2$; trong công thức đó a - kích thước các cạnh của mắt lưới; t - bước của lưới;

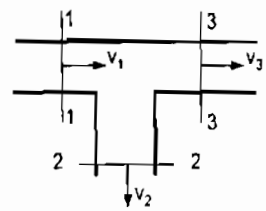
$Re_a = va/\nu$; v - vận tốc trung bình trong các mắt lưới ($v = v_1/m$ trong đó v_1 - vận tốc trung bình khi tiến đến lưới).



Hình 4.29: *Lưới có các mắt vuông*

18. Tổn thất cột nước khi rẽ nhánh (hình 4.30)

Đôi khi tổn thất cột nước khi luồng chảy ngoặt từ mặt cắt 1-1 sang mặt cắt 2-2 (rẽ nhánh) có thể coi gần đúng bằng hai lần cột nước vận tốc ở mặt cắt thứ 2, tức là:



Hình 4.30: *Rẽ nhánh của các đường ống có áp*

[1] Altsul A. Đ. và Kalisun B. I., Sách đã dẫn.

[2] Altsul A. Đ và Craxnôp N. X., Tổn thất thủy lực của các lưới có mắt hình vuông, "Cấp nước và kĩ thuật vệ sinh", 1967, N°9.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$h_{1-2} = 2\frac{v_2^2}{2g} \qquad (4\text{-}71)$$

và do đó, hệ số sức cản:

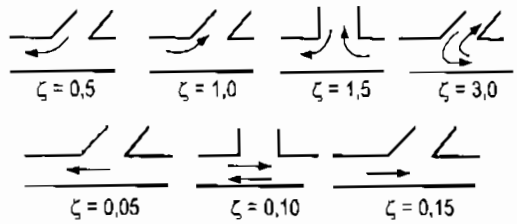
$$\zeta_{1-2} = 2$$

Khi đó tổn thất cột nước trên đoạn từ mặt cắt 1-1 sang mặt cắt 3-3 (tức là đi theo đường chảy thẳng) bằng:

$$h_{1-3} = \frac{v_1^2 - v_3^2}{2g} \qquad (4\text{-}72)$$

Trong này đã coi áp suất thủy động p_1 tại mặt cắt thứ 1 và p_3 tại mặt cắt thứ 3 là bằng nhau.

Trên hình 4.31 đã cho các giá trị của hệ số sức cản đối với các điều kiện dẫn đi khác nhau.



Hình 4.31: *Sự phụ thuộc của hệ số sức cản vào điều kiện dẫn đi*

a) Sức cản cục bộ trong các đường ống có áp với các số Râynôn nhỏ

Các số liệu dẫn ra ở trên về hệ số sức cản cục bộ là của trường hợp chảy rối với số Râynôn lớn, khi ảnh hưởng của độ nhớt còn ở mức độ thấp. Khi chất lỏng chuyển động với số Râynôn nhỏ, các hệ số sức cản cục bộ không những phụ thuộc vào đặc trưng hình học của từng sức cản cục bộ mà còn phụ thuộc vào cả số Râynôn nữa.

Khi số Râynôn nhỏ, hệ số sức cản sẽ tăng lên và có thể tính gần đúng theo công thức[1]:

$$\zeta = \frac{A}{Re} + \zeta_{bp} \qquad (4\text{-}73)$$

trong đó: ζ_{bp} - hệ số sức cản cục bộ được xét trong khu bình phương sức cản;

A - hệ số có giá trị theo bảng 4.29.

---

[1] Altsul A. Đ. Sức cản thủy lực cục bộ trong chuyển động của chất lỏng nhớt. NXB LQG, 1962.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 4.29. Các giá trị A và ζ_{bp} trong công thức (4-73) đối với một số trường hợp sức cản cục bộ

Thiết bị	A	ζ_{bp}	Thiết bị	A	ζ_{bp}
Vòi nước	150	0,40	Khóa (mở hoàn toàn)	75	0,15
Khóa nước thường	3 000	6,0	Khóa (mở n = 0,75)	350	0,2
Khóa "Kôxva"	900	2,5	Khóa (mở n = 0,50)	1 300	2,0
Van góc	400	0,8	Khóa (mở n = 0,25)	3 000	20
Van cầu	5 000	45	Màng chắn (n = 0,64)	70	1
Van góc 90°	400	1,4	Màng chắn (n = 0,40)	120	7
Van góc 135°	600	0,4	Màng (n = 0,16)	500	70
Khuỷu 90	130	0,2	Màng (n = 0,05)	3 200	800
Chạc ba	150	0,3			

Ghi chú: Đối với các thiết bị với độ mở hoàn toàn nhưng thiếu những số liệu cần thiết về đại lượng A, có thể lấy gần đúng $A = 500\zeta_{bp}$.

b) Ảnh hưởng tương hỗ giữa các sức cản cục bộ

Việc cộng đơn giản các trị số hệ số sức cản cục bộ chỉ đúng trong trường hợp khi những yếu tố sức cản cục bộ được bố trí ở những khoảng cách trên chiều dài ống sao cho sự biến dạng của biểu đồ phân bố vận tốc trên mặt cắt là không đáng kể. Để đảm bảo điều kiện đó cần làm cho các sức cản cục bộ cách nhau một khoảng không gần hơn so với[1]:

$$l_{ah} = 0,5\frac{d\zeta_{bp}}{\lambda} \qquad (4\text{-}74)$$

trong đó: l_{ah} - chiều dài ảnh hưởng của sức cản cục bộ;

λ - hệ số ma sát thủy lực của ống với đường kính d mà trên đó có phân bố các sức cản cục bộ;

ζ_{bp} - hệ số sức cản cục bộ đang xét.

Khi số Râynôn lớn, ta sử dụng hệ thức sau đây để đánh giá chiều dài ảnh hưởng: $l_{bp} \geq (30 \div 40)d$.

Trong trường hợp khi các yếu tố sức cản đặt sít nhau, việc cộng đơn giản các hệ số sức cản có thể cho kết quả không chính xác. Việc xác lập trị số tổng cộng thực tế các hệ số sức cản trong các trường hợp phức tạp cần có thí nghiệm kiểm tra.

---

[1] Altsul. A. Đ. và Kixêlôp P. G., Thủy lực và khí động lực học. NXBXD, Q6, 1965.

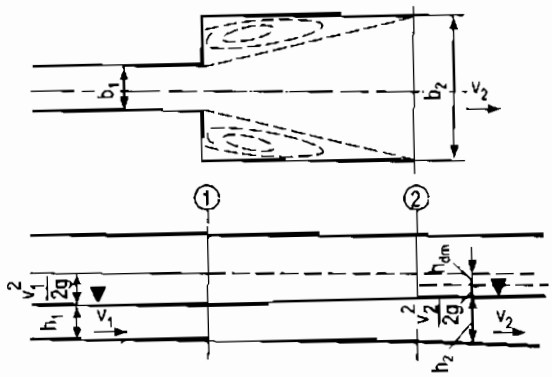
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Giá trị tổng cộng hệ số sức cản của hai sức cản đặt liên tiếp nhau (ví dụ hai khuỷu) có thể lớn hơn nhiều và cũng có thể nhỏ hơn nhiều so với tổng số số học của các hệ số sức cản của các khuỷu ngoặt riêng rẽ tùy theo khoảng cách giữa hai khuỷu ngoặt đó. Khi số Râynôn nhỏ, ảnh hưởng tương hỗ của sức cản cục bộ tỏ ra nhỏ hơn so với trường hợp khi số Râynôn lớn.

c) Tổn thất cục bộ trong kênh hở

• Kênh dẫn mở rộng đột ngột (hình 4.32)



Hình 4.32: *Kênh dẫn mở rộng đột ngột*

Đối với kênh có mặt cắt hình chữ nhật, có thể xác định tổn thất cột nước theo công thức A. Đ. Altsul:

$$h_{dm} = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} - \frac{(h_1 - h_2)^2}{2h_2} \qquad (4\text{-}75)$$

Như vậy, tổn thất cột nước khi kênh hở mở rộng đột ngột nhỏ hơn tổn thất tính theo công thức Boocđa vì $h_2 > h_1$. Khi độ chênh giữa h_2 và h_1 nhỏ, công thức (4-75) trở thành công thức Boocđa.

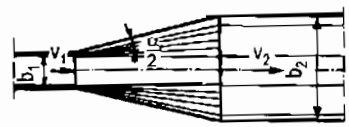
Độ dâng cao của mực nước ở đoạn hạ lưu so với mực nước của đoạn thượng lưu (cột nước phục hồi) sẽ bằng:

$$h_1 - h_2 = \frac{v_2}{g}(v_1 - v_2) + \frac{(h_2 - h_1)^2}{2h_2}$$

• Kênh mở rộng dần (hình 4.33)

Khi có đoạn quá độ, có thể xác định tổn thất theo công thức:

$$h = \psi \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} \qquad (4\text{-}76)$$



Hình 4.33: *Kênh mở rộng dần*

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

trong đó: ψ - hệ số chuyển dần, phụ thuộc vào mức độ thuận của sự mở rộng, mà giá trị của nó do A. Đ. Altsul đề nghị, được ghi trong bảng 4.30.

Bảng 4.30. Các giá trị của hệ số chuyển dần trong công thức (4-76) (theo số liệu thực nghiệm)

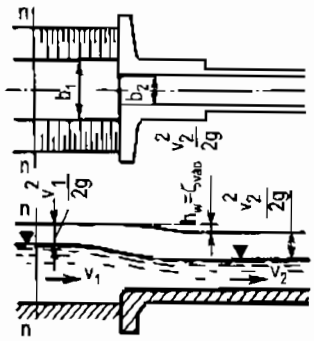
Góc mở rộng α (độ)	20	40	60 và hơn nữa
Hệ số chuyển dần ψ	0,45	0,90	1,0

• Kênh thu hẹp đột ngột (hình 4.34)

Khi thu hẹp đột ngột (không có đoạn quá độ), có thể xác định tổn thất cột nước theo Hinds[1]:

$$h_{dt} = k\frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2g} \qquad (4\text{-}77)$$

trong đó: k = 0,5 ÷ 0,6 với mọi giá trị của tỉ số b_2/b_1 từ 0,1 đến 0,5.

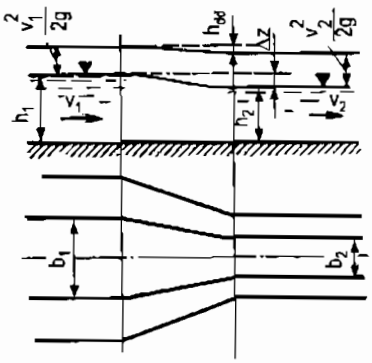


Hình 4.34: Kênh thu hẹp đột ngột

• Kênh thu hẹp dần (hình 4.35)

Có thể xác định tổn thất cột nước theo công thức Hinds với k = 0,15 khi nối tiếp thuận và k = 0,05 khi nối tiếp rất thuận. Độ hạ thấp của mức nước mặt thoáng khi đó bằng:

$$\Delta z = h_1 - h_2 = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}(1 + k) \qquad (4\text{-}78)$$



Hình 4.35: Kênh thu hẹp dần

Ghi chú: Trong các đoạn chuyển tiếp dạng cong thuận (ở các lối vào của cống luồn và các công trình khác), tổn thất cột nước rất nhỏ, thực tế rất khó phát hiện. Khi thiết kế các kênh lớn với độ sâu h ≥ 1m và vận tốc không vượt quá v = 1 ÷ 5 m/s có thể không cần tính đến sức cản thu hẹp dần, nếu như tình huống ấy không gặp quá một lần trên 1km chiều dài kênh.

• Chỗ ngoặt của kênh hở (hình 4.36)

Hệ số sức cản cục bộ khi kênh hở đổi hướng ζ_{ng} phụ thuộc vào một số đại lượng không thứ nguyên:

[1] Hinds. I., Transactions ASCE. 1928.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$\zeta_{ng} = f\left(\frac{r_c}{b}; \frac{h}{b}; \frac{vR}{\nu}; \frac{\theta}{180^0}\right) \qquad (4\text{-}79)$$

trong đó:

b - chiều rộng kênh;

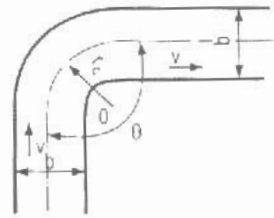
r_c - bán kính cong của đường trục của kênh;

h - chiều sâu mức nước trong kênh;

v - vận tốc trung bình của dòng chảy;

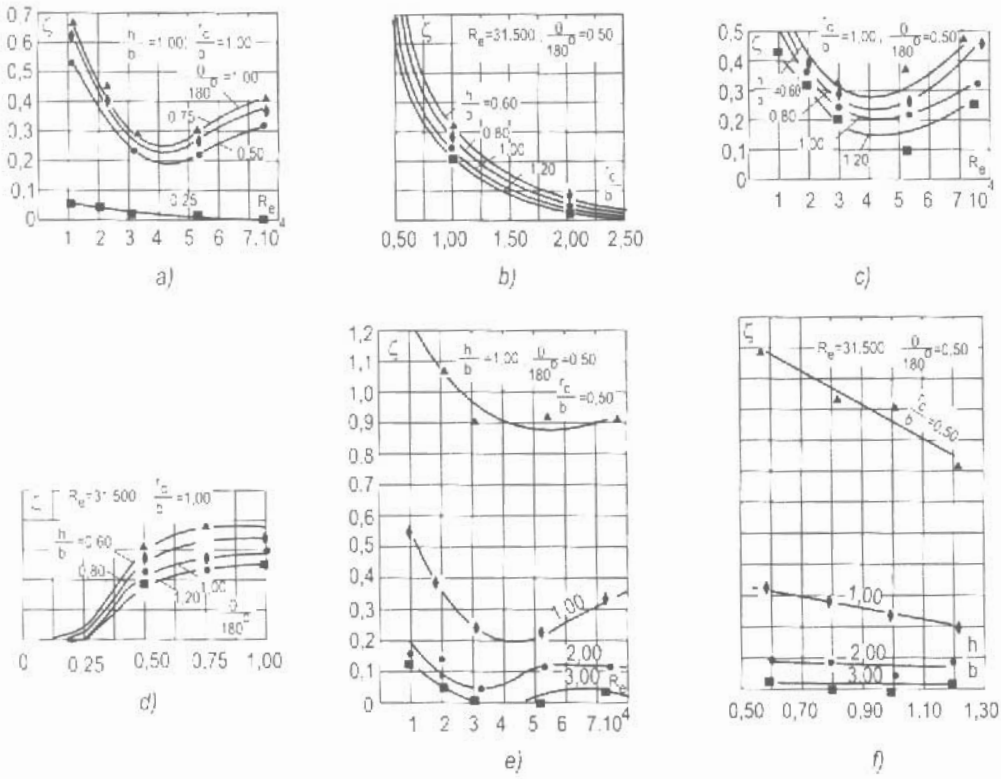
θ - góc ngoặt của kênh;

R - bán kính thủy lực.



Hình 4.36: Chỗ ngoặt của kênh hở

Quan hệ của ζ với từng số hạng không thứ nguyên riêng rẽ được trình bày trên hình 4.37 (theo thí nghiệm của Shukry[1]).



Hình 4.37: Hệ số sức cản của kênh hở khi đổi hướng

Khi xác định ζ_{ng} trong gần đúng thứ nhất, có thể chọn giá trị chỉ phụ thuộc vào 2 số hạng không thứ nguyên, sau đó đưa các đại lượng hiệu chỉnh vào để xét đến

[1] Shukry. Proc. ACCE. paper N° 2411, 1950.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

ảnh hưởng của các số hạng còn lại (xem ví dụ tính toán). Khi các góc ngoặt nhỏ hơn 90°, có thể tìm gần đúng hệ số sức cản theo công thức:

$$\zeta = \zeta_{90}\frac{\theta}{90^o} \qquad (4\text{-}80)$$

Thí dụ 1. Xác định trị số tổn thất cột nước tại chỗ ngoặt của kênh hở mặt cắt hình thang với các số liệu sau đây: chiều rộng đáy của kênh b = 0,45m; hệ số dốc của mái m = 1; bán kính cong của đường trục kênh r_c = 1,0; độ sâu mức nước của kênh h = 0,55; góc ngoặt của trục kênh θ = 90°; vận tốc trung bình của dòng nước v = 1 m/s.

Giải:

1- Ta tìm chiều rộng mặt nước của kênh và chiều rộng trung bình của kênh

$$B = b + 2mh = 0,45 + 2.1.0,55 = 1,55m$$

$$b_{tb} = \frac{b+B}{2} = \frac{1,55+0,45}{2} = 1,0m$$

2- Xác định các đại lượng của các tỉ số không thứ nguyên đặc trưng:

$$\frac{b}{b_{tb}} = 0,45; \qquad \frac{\theta}{180^o} = 0,5; \qquad \frac{r_c}{b_{tb}} = 1,0$$

3- Xác định trị số bán kính thuỷ lực:

$$\omega = (b + mh)h = (0,45 + 1.0,55)0,55 = 0,55m^2$$

$$\chi = b + 2h\sqrt{1+m^2} = 0,45 + 2.0,55\sqrt{1+1} = 2,0054m$$

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{0,55}{2,0054} = 0,274m$$

4- Xác định giá trị của số Râynôn:

$$Re = \frac{vR}{\nu} = \frac{100.27,4}{0,01} = 274.000$$

5- Theo đồ thị ở hình 4.37e với θ/180° = 0,5, r_c/b = 1, h/b = 1,0, Re = 80.000 (coi như hệ số sức cản với Re = 274.000 cũng giống như sức cản với Re = 80.000) tìm được đại lượng hệ số sức cản của chỗ ngoặt theo lần gần đúng thứ nhất là: $\zeta_{ng}^{I} = 0,35$.

Theo đồ thị hình 4.37g suy ra, khi h/b giảm từ 1 xuống 0,55, hệ số ζ (với r_c/b = 1) tăng từ 0,24 đến 0,31. Lấy cho giá trị của thừa số hiệu chỉnh 0,31/0,24 = 1,3 ta tìm được hệ số sức cản chỗ ngoặt trong lần gần đúng thứ 2:

$$\zeta_{ng}^{II} = 0,35.1,3 = 0,455$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

6- Xác định đại lượng tổn thất cột nước chỗ ngoặt của kênh:

$$h = \zeta_{ng}^{II} \frac{v^2}{2g} = 0,455 \frac{1,0^2}{19,62} = 0,023m = 2,3cm$$

Thí dụ 2. Xác định đại lượng tổn thất cột nước tại chỗ ngoặt của kênh hở mặt cắt chữ nhật, nếu như chiều rộng b = 1m; bán kính cong của đường trục kênh r_c = 1,5m; chiều sâu đầy nước h = 0,7m; góc ngoặt của trục kênh θ = 120; vận tốc trung bình của dòng nước v = 0,8 m/s.

Giải:

1- Ta tìm được giá trị của các tham số không thứ nguyên:

$$\frac{h}{b} = \frac{0,7}{1,0} = 0,7; \quad \frac{\theta}{180^o} = 0,667; \quad \frac{r_c}{b} = 1,5$$

2- Bán kính thủy lực của kênh bằng:

$$R = \frac{bh}{b+2h} = 0,292 \approx 0,3m$$

3- Số Râynôn đối với dòng chảy trong kênh (khi ν = 0,01 cm^2/s):

$$Re = \frac{vR}{\nu} = \frac{80.30}{0,01} = 240.000$$

4- Theo hình 4.37b khi r_c/b = 1,5 và h/b = 0,7 ta tìm được giá trị của hệ số sức cản trong lần gần đúng thứ nhất: $\zeta_{ng}^{I} = 0,15$.

5- Giá trị vừa tìm được $\zeta_{ng}^{I} = 0,15$ là ứng với góc θ/180° = 0,50. Theo hình 4.37g, với h/b = 0,7 khi θ/180° = 0,5 ta có ζ = 0,28, còn khi θ/180° = 0,667 ta có ζ = 0,33. Xác định đại lượng của thừa số hiệu chỉnh ψ = 0,33/0,28 = 1,18, ta tìm được đại lượng của hệ số sức cản trong lần gần đúng thứ 2.

$$\zeta_{ng}^{II} = \zeta_{ng}^{I}.1,18 = 1,18.0,15 = 0,177 \approx 0,18$$

6- Xác định đại lượng tổn thất chỗ ngoặt của kênh:

$$h = \zeta_{ng}^{II} \frac{v^2}{2g} = 0,18 \frac{0,8^2}{19,6} = 0,0059m \approx 0,6cm$$

• Các lưới chắn (hình 4.38)

Tổn thất cột nước trong các lưới chắn được xác định theo công thức Vâyxbăc (4-42):

$$h = \zeta_{lưới} \frac{v^2}{2g}$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

trong đó: v - vận tốc trung bình ở trước lưới;

$\zeta_{lưới}$ - hệ số sức cản cục bộ của lưới.

Theo các nghiên cứu của VODGEO, hệ số sức cản được xác định theo công thức:

$$\zeta_{lưới} = k\left(\frac{\omega_l + \omega_b}{\omega}\right)^{1,6}\left(2,3\frac{l}{b} + 8 - 2,4\frac{b}{l}\right)\sin\alpha \qquad (4\text{-}81)$$

trong đó:

k = 0,504 đối với các thanh hình chữ nhật;

k = 0,318 đối với thanh chữ nhật có mép vào tròn;

k = 0,182 đối với thanh hình nêm với mép tròn;

l - chiều rộng của các thanh (hình 4.39);

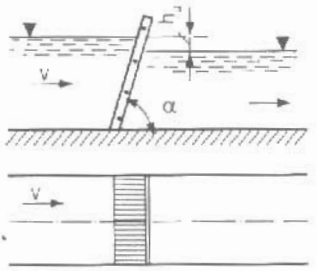
b - khoảng không giữa các thanh;

α - góc nghiêng của lưới với phương nằm ngang (hình 4.38);

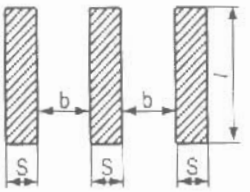
ω_l - diện tích của tất cả các phần tử của lưới chắn;

ω_b - diện tích khoảng trống bị làm bẩn giữa các phần tử của lưới;

ω - diện tích của lỗ không kể lưới.

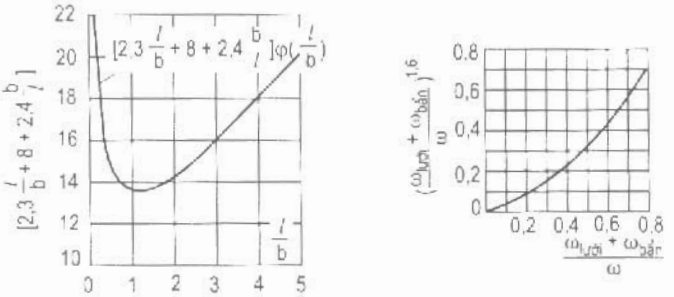


Hình 4.38 Lưới đặt thẳng



Hình 4.39: Mặt cắt và kích thước các thanh của lưới

Để đơn giản hóa các tính toán, có thể dùng các đồ thị ở hình 4.40 để xác định hệ số $\zeta_{lưới}$, còn khi thanh có mặt cắt khác (hình 4.41) và các lưới đặt xiên (hình 4.42) thì hệ số ζ được xác định bằng cách như sau (theo Kirsmer).



Hình 4.40: Các đồ thị phụ để tính toán hệ số sức cản của lưới theo công thức (4-81)

- Khi lưới đặt thẳng với dòng chảy chảy tới (hình 4.38):

$$\zeta_{lưới} = \beta\left(\frac{s}{b}\right)^{4/3}\sin\alpha \qquad (4\text{-}82)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

trong đó: s - chiều dày của thanh;

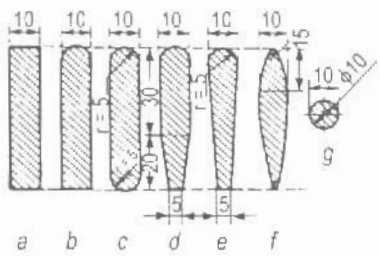
b - trị số khoảng trống giữa các thanh (hình 4.39);

β - hệ số có giá trị phụ thuộc vào hình dạng của thanh và có thể lấy theo bảng 4.31 và hình 4.41;

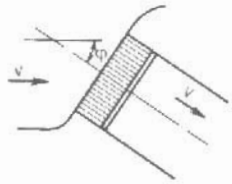
α - góc nghiêng của lưới so với đường ngang.

Bảng 4.31. Các giá trị của hệ số β trong công thức Kirsmer (4-82)

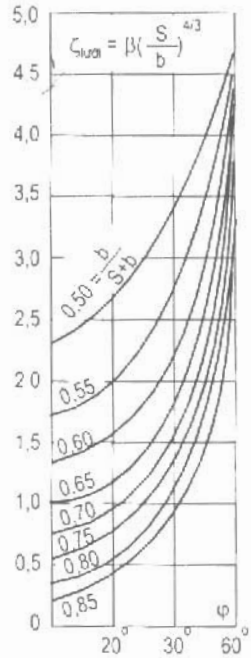
Dạng thanh	a	b	c	d	e	f	g
β	2,42	1,83	1,67	1,035	0,92	0,76	1,97



Hình 4.41: Hình dạng thanh của lưới



Hình 4.42: Lưới đặt xiên



Hình 4.43: Đồ thị để tính lưới khi lưới đặt xiên

- Khi lưới đặt xiên (hình 4.42) hệ số ζ_t đối với các thanh chữ nhật có mặt cắt 10 × 70mm có thể tìm được theo đồ thị (hình 4.43) (tùy thuộc vào góc φ của hướng chảy tới của dòng vào lưới).

Khi thiết kế lưới chắn rác, cần phải quy định vận tốc đủ nhỏ để không cản trở việc làm sạch lưới trong điều kiện khai thác.

F. F. Gubin đề nghị lấy các giá trị vận tốc cho phép sau đây cho lưới:

1. Ở lối vào buồng tuabin trực tiếp từ thượng lưu, lấy $v_{tb} = 0,9 \div 1,2$ m/s.

2. Ở lối vào các công trình nhận nước có áp lấy $v_{tb} = 0,25 \div 1$ m/s tùy theo độ vươn dến và độ sâu đặt lưới.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Còn có thể tìm được trị số của hệ số ζ_t theo công thức[1]:

$$\zeta_t = \frac{1}{M^2}\left[\left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}\right)^2 + (1-M)^2\right]\sin\alpha \qquad (4\text{-}83)$$

trong đó:

$M = \frac{b}{b+s}$;

s - chiều dày của các thanh chữ nhật;

b - khoảng cách giữa các thanh;

α - góc nghiêng của lưới với đường ngang;

ε - hệ số co hẹp của luồng nước khi đi qua lưới mà đối với trường hợp thanh chữ nhật có thể tìm được theo công thức (4-47a). Công thức này, đối với trường hợp lưới, có dạng:

$$\varepsilon = 0,57 + \frac{0,043}{1,1-M} \qquad (4\text{-}84)$$

4.5. CÁC HỆ SỐ SỨC CẢN TRONG KHU BÌNH PHƯƠNG SỨC CẢN DÙNG CHO CÁC TÍNH TOÁN SƠ BỘ (THEO ĐỀ NGHỊ CỦA P. G. KIXÊLEP)

Nơi vào ống có mép sắc	$\zeta = 0,50$
Vào ống thuận	$\zeta = 0,05 \div 0,20$
Mở rộng đột ngột ($\omega_2 > \omega_1$) với $h = \zeta\frac{v^2}{2g}$	$\zeta = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1\right)^2$
Thu hẹp đột ngột ($\omega_2 > \omega_1$) với $h = \zeta\frac{v_2^2}{2g}$	$\zeta = 0,5\left(1 - \frac{\omega_2}{\omega_1}\right)$
Nón quá độ (với $d_2 = 2d_1$)	$\zeta = 5,0$
Nón quá độ (với $d_2 \approx 0,5d_1$)	$\zeta = 0,2$
Ngoặt gãy khúc đột ngột sang 90°	$\zeta = 1,2$
Ngoặt dần sang 90°	$\zeta = 0,15$
Chảy ra từ ống ở dưới mực nước $h = \zeta\frac{v^2}{2g}$	$\zeta = 1,0$

(v - vận tốc trong ống)

[1] Altsul A. Đ., Sức cản thủy lực, M., 1970.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Van hình đĩa mở hoàn toàn	$\zeta = 0,10$
Khóa mở hoàn toàn	$\zeta = 0,11 \div 0,12$
Các vòi nước khác nhau mở hoàn toàn	$\zeta = 5$
Van hút có lưới ở các máy bơm	$\zeta = 10$
Lối vào kênh thuận	$\zeta = 0,10$
Lối vào kênh với các mép sắc cạnh (có co hẹp bên)	$\zeta = 0,40$
Kênh dẫn mở rộng thuận ($\omega_2 > \omega_1$)	$\zeta = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1\right)^2$
Kênh dẫn thu hẹp thuận ($\omega_2 < \omega_1$)	$\zeta = 0,1$

Khi thiết kế, tùy theo giai đoạn thiết kế mà ta cần nâng độ chính xác của các hệ số ζ lên hơn nữa. Trong các trường hợp quan trọng cần phải thí nghiệm bằng mô hình trong phòng thí nghiệm.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

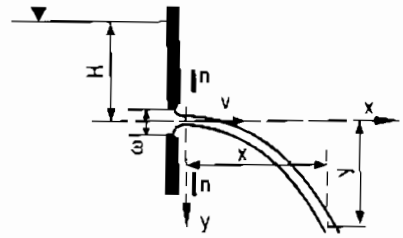
Chương 5

CHẢY QUA LỖ

5.1. CHẢY TỰ DO VÀO KHÔNG KHÍ

a) Chảy từ những lỗ nhỏ trong thành mỏng

Khi chiều cao h của lỗ không vượt quá 0,1H thì có thể xem là lỗ nhỏ. Trong điều kiện đó, vận tốc tại bất kì điểm nào trên mặt cắt co hẹp n-n (hình 5.1) cũng có thể coi là như nhau.



Hình 5.1

Vận tốc trong mặt cắt co hẹp n-n có thể xác định theo công thức:

$$v = \varphi\sqrt{2gH} \quad (5\text{-}1)$$

Ở đây: φ - hệ số vận tốc;

H - cột nước ở phía trên trọng tâm của lỗ.

Diện tích mặt cắt co hẹp của luồng chảy (mặt cắt n-n trên hình 5.1) bằng:

$$\omega_c = \varepsilon\omega \quad (5\text{-}2)$$

Ở đây: ε - hệ số co hẹp của luồng.

Lưu lượng của chất lỏng bằng:

$$Q = \mu\omega\sqrt{2gH} \quad (5\text{-}3)$$

trong đó: μ - hệ số lưu lượng;

ω - diện tích của lỗ.

Các hệ số μ, φ và ε trong các công thức (5-1) ÷ (5-3) liên hệ với nhau và với hệ số sức cản ζ theo những hệ thức sau đây:

$$\mu = \varepsilon\varphi \quad (5\text{-}4)$$

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{1+\zeta}} \quad (5\text{-}5)$$

hoặc:

$$\zeta = \frac{1}{\varphi^2} - 1 \quad (5\text{-}6)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

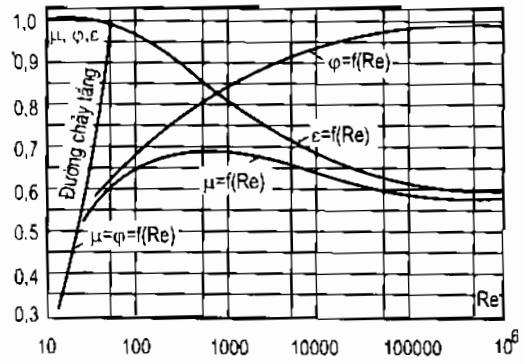
Tất cả các hệ số dòng chảy đều biến đổi phụ thuộc vào số Râynôn mà đối với trường hợp chảy từ lỗ tròn, A. Đ. Altsul[1] đề nghị viết dưới dạng:

$$Re_H = \frac{\sqrt{2gHd}}{\nu} \qquad (5\text{-}7)$$

Khi đó các hệ số μ, φ, ε tùy theo số Re_H có thể xác định theo đồ thị trên hình 5.2.

Khi Re_H > 10.000, hệ số lưu lượng có thể xác định theo công thức A. Đ. Altsul:

$$\mu = 0{,}592 + \frac{55}{\sqrt{Re_H}} \qquad (5\text{-}8)$$



Hình 5.2: *Sự phụ thuộc của các hệ số chảy từ lỗ thành mỏng vào số Râynôn Re_H*

Đối với đại bộ phận các trường hợp nước chảy từ lỗ tròn và các hình dạng khác với d > 1cm, có thể lấy gần đúng:

ε = 0,61 ÷ 0,63; φ = 0,97 ÷ 0,98; μ = 0,60 ÷ 0,62; ζ = 0,04 ÷ 0,06.

Phương trình đường trục của dòng tia (hình 5.1) là:

$$y = \frac{x^2}{4\varphi^2 H} \qquad (5\text{-}9)$$

Khoảng cách x gọi là tầm bay của dòng tia và được xác định từ công thức (5-9):

$$x = 2\varphi\sqrt{Hy} \qquad (5\text{-}10)$$

Giá trị của cột nước tổn thất được xác định theo công thức:

$$h_w = \frac{\zeta}{1+\zeta} H \qquad (5\text{-}11)$$

Khi chảy vào không khí ζ ≅ 0,06, tức là tổn thất cột nước bằng 5% cột nước H.

b) Chảy qua lỗ to

Đối với lỗ có hình dạng bất kì, có thể xác định lưu lượng theo công thức:

$$Q = \mu\omega\sqrt{2gH_o} \qquad (5\text{-}12)$$

Ở đây: $$H_o = H + \frac{v_o^2}{2g}$$

---

[1] Altsul A. Đ.. Sức cản thủy lực, M., 1970.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

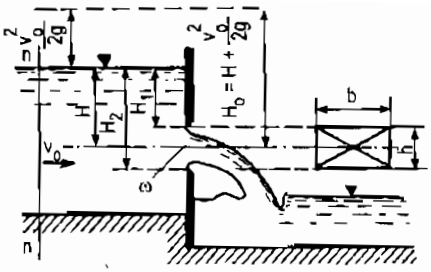
trong đó:

v_0 - vận tốc đến;

H - cột nước ở trên trọng tâm của lỗ;

ω - diện tích lỗ (hình 5.3).

Ghi chú: Vận tốc v_0 là vận tốc trung bình của dòng chảy ở trước lỗ và được tính theo công thức $v_0 = Q/\Omega$, trong đó Ω là diện tích mặt cắt ngang của dòng chảy trước lỗ (mặt cắt n-n, hình 5.3).



Hình 5.3

Bảng 5.1. Các giá trị của hệ số co hẹp của tia chảy ε đối với n khác nhau theo công thức (5-13)

n	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ε	0,609	0,613	0,618	0,623	0,631	0,642	0,656	0,678	0,713	0,785	1,0

Đối với lỗ hình chữ nhật trong thành thẳng đứng, có thể xác định lưu lượng theo công thức:

$$Q = \frac{2}{3}\mu' b\sqrt{2g}(H_2^{3/2} - H_1^{3/2}) \qquad (5\text{-}13)$$

còn khi thành nghiêng một góc α đối với mặt nằm ngang thì dùng công thức:

$$Q = \frac{2}{3}\mu' b\frac{\sqrt{2g}}{\sin\alpha}(H_2^{3/2} - H_1^{3/2}) \qquad (5\text{-}14)$$

trong đó: μ' có giá trị đại thể như đối với lỗ nhỏ.

5.2. ẢNH HƯỞNG CỦA ĐỘ CO HẸP CỦA TIA

Ta phân biệt co hẹp hoàn chỉnh (nghĩa là khả năng tối đa) và co hẹp không hoàn chỉnh, co hẹp hoàn toàn (tức là co hẹp theo mọi chiều) và không hoàn toàn (hình 5.4).

Co hẹp hoàn chỉnh xảy ra trong trường hợp khi các thành hướng dòng ở cách xa các cạnh của lỗ đến mức là thực tế không ảnh hưởng gì đến sự chảy qua lỗ, tức là thỏa mãn các điều kiện $s \le 3b$ và $m \ge 3a$ (hình 5.4). Trường hợp ngược lại (ví dụ lỗ 2) là co hẹp không hoàn chỉnh. Khi co hẹp không hoàn chỉnh, hệ số co hẹp được tính như sau[1]:

---

[1] Altsul A. Đ., Sức cản thủy lực cục bộ trong chuyển động của chất lỏng nhớt. NXB NLQG, 1962.

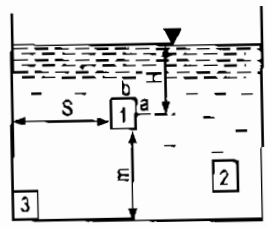
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

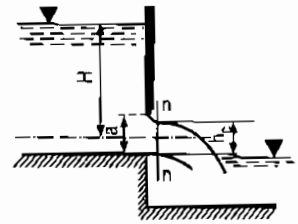
$$\varepsilon_{khc} = \frac{0,043}{1,1-n} + 0,57 \qquad (5\text{-}15)$$

trong đó: n = ω/Ω - tỉ số giữa diện tích của lỗ và diện tích mặt cắt ngang của dòng chảy ở trước lỗ.

Các giá trị bằng số của ε đối với n khác nhau được ghi trong bảng 5.1.



Hình 5.4



Hình 5.5

Khi chất lỏng là nước có thể lấy gần đúng $\mu_{khc} = \varepsilon_{khc}$.

Sự co hẹp hoàn toàn xảy ra trong trường hợp khi thành hướng dòng không trùng với một cạnh nào của lỗ (lỗ 1 trong hình 5.4).

Khi co hẹp không hoàn toàn, hệ số lưu lượng μ_{kht} theo N. N. Pavlôpxki sẽ bằng:

$$\frac{\mu_{kht}}{\mu_{ht}} \approx 1 + 0,4n' \qquad (5\text{-}16)$$

với n' = p'/p, trong đó: p - toàn bộ chu vi của lỗ, còn p' - phần chu vi mà trên đó sự co hẹp không xảy ra do có thành hướng dòng.

Các giá trị của hệ số μ trong trường hợp chảy tự do vào không khí đối với các lỗ trong hình 5.3 và 5.5 được ghi trong bảng 5.2.

Bảng 5.2. Các giá trị của hệ số lưu lượng μ để tính sơ bộ các công trình thủy lợi (theo N. N. Pavlôpxki)

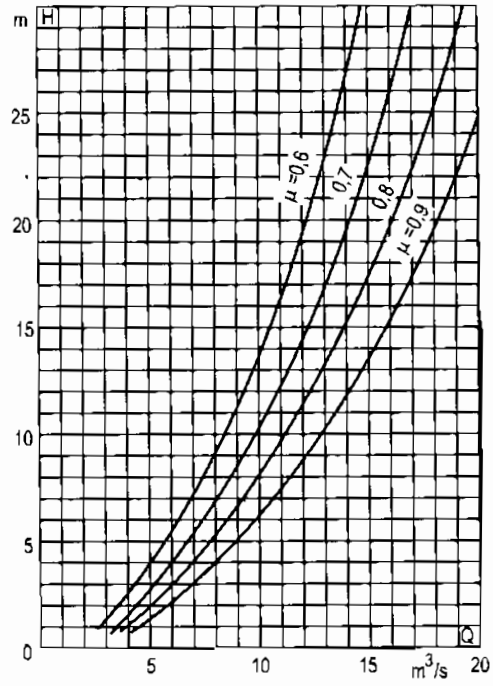
Loại lỗ	μ
Lỗ nhỏ và co hẹp hoàn toàn	0,60
Lỗ kích thước trung bình, tia co hẹp từ mọi phía khi không có thành hướng dòng	0,65
Lỗ kích thước lớn, co hẹp không hoàn chỉnh, nhưng co hẹp cả mọi phía, không xác định được chính xác hơn các điều kiện nước chảy đến lỗ, trung bình bằng	0,70
Lỗ đáy (tức là không bị co hẹp ở đáy), chịu ảnh hưởng đáng kể của co hẹp cạnh bên	0,65 ÷ 0,70
Lỗ đáy, chịu ảnh hưởng của co hẹp cạnh bên vừa phải	0,70 ÷ 0,75
Lỗ đáy, dòng chảy đến từ cạnh bên, thuận	0,80 ÷ 0,85
Các trường hợp đặc biệt của dòng chảy đến lỗ, từ mọi phía rất thuận (trong điều kiện có sự kiểm tra bắt buộc ở phòng thí nghiệm)	0,90

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Ghi chú: Trong khi tính các lỗ đáy theo sơ đồ trên hình 5.5, cần lưu ý rằng công thức lưu lượng của dòng chảy vào không khí chỉ áp dụng được khi độ mở của lỗ $a < h_{pg}$ (độ sâu phân giới).

Các giá trị của lưu lượng Q qua các lỗ có diện tích đơn vị $\omega = 1m^2$ được ghi trong hình 5.6.



Hình 5.6: *Các đồ thị để xác định lưu lượng Q khi chất lỏng chảy từ lỗ có diện tích $\omega = 1m^2$ với các hệ số lưu lượng μ khác nhau (tức là theo công thức $Q = \mu\sqrt{2gH}$)*

5.3. CHẢY NGẬP

a) Lỗ ngập

Lưu lượng qua lỗ ngập được xác định theo công thức (hình 5.7).

$$Q = \mu\omega\sqrt{2gz_o} \qquad (5\text{-}17)$$

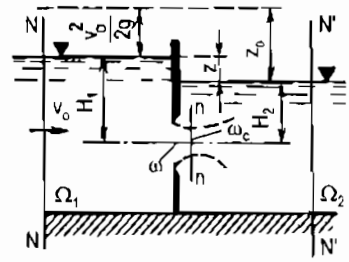
trong đó:

μ - hệ số lưu lượng;

ω - diện tích lỗ;

z_o - độ hạ thấp mức nước có xét đến cột nước vận tốc đến:

$$z_o = z + \frac{v_o^2}{2g} \qquad (5\text{-}18)$$



Hình 5.7: *Chảy ra qua lỗ ngập*

Vận tốc đến $v_o = Q/\Omega$, trong đó Ω - diện tích mặt cắt ngang của dòng chảy ở trước lỗ (mặt cắt N-N, hình 5.7). Các hệ số μ, φ, ε và ζ của lưu lượng, vận tốc, độ co hẹp và sức cản trong tính toán thực tế được lấy gần đúng như khi chảy vào không khí.

Có thể tìm chính xác hơn lưu lượng qua lỗ ngập từ hệ thức:

$$Q = \mu_{ng}\omega\sqrt{2g(H_1 - H_2)} = \mu_{ng}\omega\sqrt{2gz} \qquad (5\text{-}19)$$

trong đó: μ_{ng} - hệ số lưu lượng được xác định theo công thức[1]:

---

[1] Altsul A. Đ., Về hệ số lưu lượng khi chảy ra khỏi lỗ ngập. Tạp chí "Thủy công và thủy nông", 1951, N°12.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$\mu_{ng} = \frac{\varepsilon}{\sqrt{2\varepsilon^2 m^2 - \varepsilon^2 n^2 + \zeta_o + 1 - 2\varepsilon m}} \qquad (5\text{-}20)$$

trong đó:

n - tỉ số giữa diện tích của lỗ với diện tích của dòng chảy ở trước lỗ, tức là $n = \omega/\Omega_1$;

m - tỉ số giữa diện tích lỗ với diện tích dòng ở dưới lỗ (tức là $m = \omega/\Omega_2$);

ε - hệ số co hẹp khi chảy ngập, thực tế không khác với hệ số co hẹp của luồng chảy qua lỗ không ngập.

Trong trường hợp lỗ có kích thước nhỏ so với kích thước bể chứa ($n \to 0$; $m \to 0$).

$$\mu_{ng} = \frac{\varepsilon}{\sqrt{1+\zeta}} \qquad (5\text{-}21)$$

Tức là trùng với giá trị của hệ số lưu lượng khi chảy không ngập (chảy vào không khí).

b) Lỗ nửa ngập (hình 5.8)

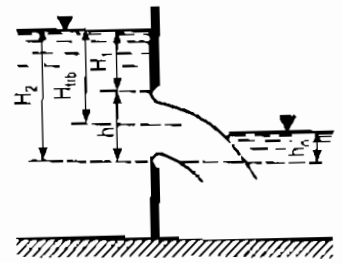
Lưu lượng qua lỗ nửa ngập có mặt cắt chữ nhật (theo đề nghị của N. N. Pavlôpxki) được xác định theo công thức:

$$Q = \sigma\mu b h\sqrt{2gH_{tb}} \qquad (5\text{-}22)$$

trong đó:

$H_{tb} = \frac{1}{2}(H_2 + H_1)$ - cột nước kể từ trọng tâm của lỗ;

σ - hiệu chỉnh do ngập. Hệ số lưu lượng μ được lấy như trường hợp chảy vào không khí. Giá trị của σ lấy theo bảng 5.3 do N. N. Pavlôpxki lập, phụ thuộc vào $\eta = \frac{h_n}{H_2}$ và $\varphi = \frac{H_1}{H_2}$ (hình 5.8).



Hình 5.8: *Chảy ra từ lỗ nửa ngập*

Bảng 5.3. Các giá trị của σ đối với các lỗ nửa ngập (theo N. N. Pavlôpxki)

$\eta = \frac{h_n}{H_2}$	$\varphi = \frac{H_1}{H_2}$										
	0	0.1	0.2	0.3	0,4	0,5	0,6	0.7	0,8	0,9	1
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*
0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0.1	0,991	0,989	0,987	0,985	0,983	0,981	0,979	0,977	0,975	0,973	–

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0,2	0,981	0,977	0,973	0,868	0,963	0,958	0,953	0,948	0,943	–	–
0,3	0,970	0,963	0,956	0,945	0,934	0,922	0,914	0,907	–	–	–
0,4	0,956	0,947	0,932	0,917	0,898	0,879	0,866	–	–	–	–
0,5	0,937	0,923	0,901	0,847	0,840	0,816	–	–	–	–	–
0,6	0,907	0,885	0,845	0,803	0,756	–	–	–	–	–	–
0,7	0,856	0,817	0,762	0,679	–	–	–	–	–	–	–
0,8	0,776	0,712	0,577	–	–	–	–	–	–	–	–
0,9	0,612	0,426	–	–	–	–	–	–	–	–	–
1,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Khi $h_n \le \frac{1}{2}(H_2 - H_1)$, nếu bỏ qua ngập, tức là lấy $\sigma = 1$, thì trong tính toán vẫn không bị sai số lớn.

5.4. CHẢY KHI MỨC NƯỚC THAY ĐỔI

Ta xác định thời gian hạ thấp (hoặc nâng cao) của mặt thoáng từ cao độ H_1 đến H_2 khi chảy vào không khí (hình 5.9).

1. Khi diện tích mặt thoáng $\Omega = f(H)$ thay đổi

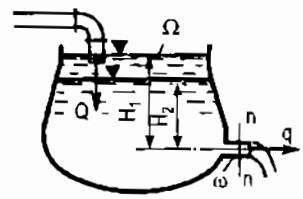
$$t = \int_{H_1}^{H_2} \frac{\Omega dH}{Q - \mu\omega\sqrt{2gH}} = \int_{H_1}^{H_2} \frac{f(H)dH}{Q - \mu\omega\sqrt{2gH'}} \qquad (5\text{-}23)$$

trong đó:

Q - lưu lượng chảy vào bình chứa [trong trường hợp chung nó thay đổi theo thời gian, $Q = f_1(t)$];

ω - diện tích mặt cắt ngang của lỗ;

μ - hệ số lưu lượng của lỗ.



Hình 5.9: *Chảy khi mức nước thay đổi*

2. Khi Ω = const và khi lưu lượng chảy vào không đổi (Q = const), thời gian tháo cạn hoặc làm đầy bể được xác định theo công thức:

$$t = \frac{2\Omega}{\mu\omega\sqrt{2gH'\omega}}\left[\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2} + \sqrt{H_{cv}}\ln\frac{\sqrt{H_{cv}} - \sqrt{H_1}}{\sqrt{H_{cv}} - \sqrt{H_2}}\right] \qquad (5\text{-}24)$$

trong đó:

H_{cv} - cột nước mà với nó sẽ cho một lưu lượng qua lỗ bằng lưu lượng chảy vào Q, tức là với cột nước ấy $Q = \mu\omega\sqrt{2gH_{cv}}$, do đó $H_{cv} = \frac{Q}{2g\mu^2\omega^2}$.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Nếu cột nước ban đầu $H_1 > H_{cv}$, bể chứa sẽ bị tháo cạn và nếu cột nước ban đầu $H_1 < H_{cv}$ thì nước được chứa đầy bể. Trong cả hai trường hợp, muốn cho mặt thoáng đạt đến mức tương ứng với cột nước $H_{cv} = H_2$ cần có thời gian $t = \infty$.

Ghi chú: Nếu $H_1 > H_{cv}$ thì $H_2 > H_{cv}$ (tại giới hạn $H_2 = H_{cv}$). Nếu $H_1 < H_{cv}$ thì $H_2 < H_{cv}$ (tại giới hạn $H_2 = H_{cv}$).

Nếu không có nguồn nước chảy vào ($Q = 0$) thì thời gian tháo cạn tính theo công thức:

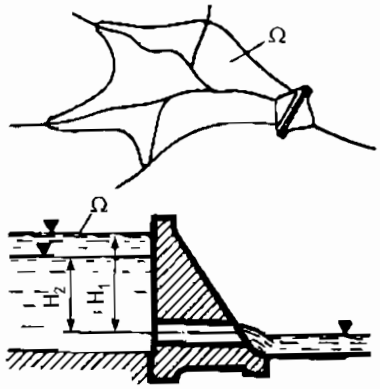
$$t = \frac{2\Omega}{\mu\omega\sqrt{2g}}(\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2}) \qquad (5\text{-}25)$$

Để tháo cạn hoàn toàn ($H_2 = 0$), thời gian cần thiết sẽ bằng:

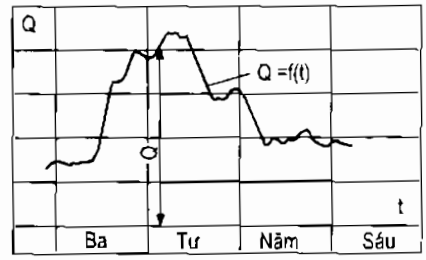
$$t = \frac{2\Omega\sqrt{H_1}}{\mu\omega\sqrt{2g}} = \frac{2\Omega H_1}{\mu\omega\sqrt{2gH_1}} = \frac{2W}{q_{bd}} \qquad (5\text{-}26)$$

tức là: $t = \dfrac{\text{(Hai lần thể tích ban đầu của chất lỏng trong bình)}}{\text{(Lưu lượng qua lỗ ban đầu)}}$

3. Chứa đầy và tháo cạn các hồ chứa (hình 5.10) khi $\Omega = f(H)$.



Hình 5.10



Hình 5.11: *Đường quá trình lưu lượng của sông trong điều kiện thường ngày*

a) Trong trường hợp tổng quát, nếu lưu lượng chảy vào Q được cho bằng một đường quá trình lưu lượng (hình 5.11) và diện tích mặt hồ cho bằng đường cong $\Omega = f(H)$ (hình 5.12), thì thời gian tháo cạn hoặc chứa đầy hồ được xác định bằng phương pháp tích phân gần đúng từ công thức:

$$\Delta t = \sum \frac{0,5(\Omega_i + \Omega_{i-1})\Delta H}{0,5(Q_i + Q_{i-1}) - \mu\omega\sqrt{2gH_{tb}}} \qquad (5\text{-}27)$$

trong đó: $H_{tb} = \dfrac{H + H_{i-1}}{2}$.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

b) Nếu không có lưu lượng chảy vào (Q = 0), thì thời gian tháo cạn:

$$t = \frac{1}{\mu\omega\sqrt{2g}} \int_{H_2}^{H_1} \frac{\Omega dH}{\sqrt{H}} = \frac{1}{\mu\omega\sqrt{2g}} \int_{H_2}^{H_1} \frac{f(H)dH}{\sqrt{H}} \qquad (5\text{-}28)$$

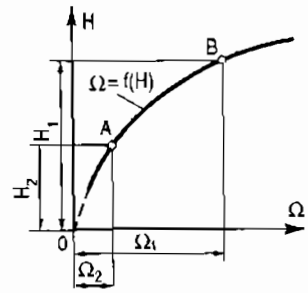
Nếu biết đường cong biểu diễn diện tích mặt nước hồ, thì trong phạm vi từ A đến B (hình 5.12) có thể lấy gần đúng $\Omega = f(H) = cH^n$. Khi đó thời gian hạ thấp mức nước từ nước H_1 đến H_2 sẽ bằng:

$$t = \frac{2c}{\mu\omega\sqrt{2g}(2n+1)} \left[\sqrt{H_1^{2n+1}} - \sqrt{H_2^{2n+1}} \right] \qquad (5\text{-}29)$$

Chỉ số n và hệ số c trong phương trình $\Omega = cH^n$ được xác định bằng công thức:

$$n = \frac{\lg \frac{\Omega_1}{\Omega_2}}{\lg \frac{H_1}{H_2}} \quad \text{và} \quad c = \frac{\Omega}{H^n}$$

trong đó: Ω_1 và Ω_2 được tìm trực tiếp theo đồ thị (hình 5.12) ứng với các cột nước H_1 và H_2.



Hình 5.12: *Đường cong diện tích mặt nước hồ*

Hệ số lưu lượng μ phải được tính sơ bộ cho công trình tháo nước với đường kính d có xét đến tất cả các sức cản cục bộ cũng như dọc đường, tức là theo công thức:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \sum\zeta + \lambda\frac{l}{d}}}$$

Thời gian tháo nước tổng cộng t xác định theo phương pháp hình thang sẽ bằng:

$$t = t_1 + t_2 + \ldots t_n$$

trong đó: t_1, t_2, t_3, ... - thời gian cần thiết để mức nước hạ từ H_1 đến H^I, từ H^I đến H^{II}, từ H^{II} đến H^{III} và v.v...

Ngoài ra, mỗi thời đoạn riêng:

$$t_i = \frac{2\Omega_{tb}}{\mu\omega\sqrt{2g}} (\sqrt{H_i} - \sqrt{H_{i-1}}) \qquad (5\text{-}30)$$

trong đó: $\Omega_{tb} = \frac{1}{2}(\Omega_i + \Omega_{i-1})$.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Các chỉ số i và (i – 1) tương ứng với số thứ tự của cột nước H và diện tích mặt hồ Ω ban đầu và cuối trong mỗi thời đoạn t_i.

5.5. TÍNH TOÁN CÁC LỖ CỬA VẠN (CHẢY DƯỚI CỬA VAN VÀO MÁNG)

Khi không có co hẹp hai bên và bề rộng máng là b, thì vận tốc trong mặt cắt co hẹp (n - n) (hình 5.13) sẽ bằng[1]:

$$v = \frac{\varphi}{\sqrt{1+\varepsilon\frac{a}{H}}}\sqrt{2gH} \qquad (5\text{-}31)$$

còn lưu lượng:

$$Q = \varphi\frac{b\varepsilon a}{\sqrt{1+\varepsilon\frac{a}{H}}}\sqrt{2gH} \qquad (5\text{-}32)$$

trong đó: φ - hệ số hiệu chỉnh xét đến ảnh hưởng của tổn thất cột nước. Giá trị φ khi chảy dưới cửa van vào máng nằm ngang được ghi trong bảng 5.4.

Bảng 5.4. Quan hệ φ = f(Fr) khi chảy dưới cửa van thẳng đứng vào máng nằm ngang (theo A. Đ. Altsul)

$Fr = \frac{v_o^2}{gH}$	0	0,01	0,025	0,06	0,10 và lớn hơn
φ	1,06	1,0	0,97	0,96	0,96

Giá trị của hệ số co hẹp dòng chảy ε khi chảy dưới cửa van phẳng thẳng đứng ghi trong bảng 5.5.

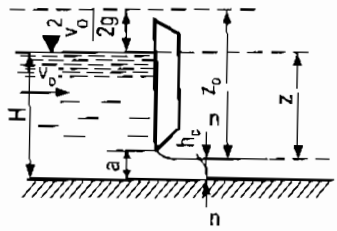
Bảng 5.5. Hệ số co hẹp dòng chảy khi chảy dưới cửa van phẳng thẳng đứng vào máng nằm ngang (theo N. E. Jucôpxki)

$\frac{Q}{H}$	ε	$\frac{Q}{H}$	ε	$\frac{Q}{H}$	ε	$\frac{Q}{H}$	ε
0,00	0,611	0,30	0,625	0,55	0,650	0,80	0,720
0,10	0,615	0,35	0,628	0,60	0,660	0,85	0,745
0,15	0,618	0,40	0,630	0,65	0,675	0,90	0,780
0,20	0,620	0,45	0,638	0,70	0,690	0,95	0,835
0,25	0,622	0,50	0,645	0,75	0,705	1,00	1,000

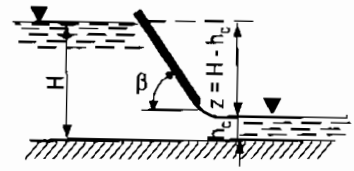
[1] A. Đ. Altsul. Về hệ số lưu lượng khi chảy dưới cửa van. Tạp chí "Kỹ thuật vệ sinh". 1957. N°6.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 5.13



Hình 5.14

Khi cửa van phẳng đặt nghiêng một góc β với phương nằm ngang (hình 5.14), lưu lượng được xác định theo công thức:

$$Q = \mu ab\sqrt{2g(H_o - \varepsilon a)} \qquad (5\text{-}33)$$

trong đó: $H_o = H + \frac{v_o^2}{2g}$

Hệ số μ (theo số liệu thí nghiệm) bằng:

với β = 63°20' μ = 0,74;

với β = 45° μ = 0,84

Các giá trị của hệ số co hẹp ε và hệ số lưu lượng μ = εφ (với hệ số vận tốc φ = 0,97) tùy thuộc vào góc β được cho trong bảng 5.6.

Bảng 5.6. Sự phụ thuộc của hệ số co hẹp dòng chảy ε và hệ số lưu lượng μ vào góc β

Các hệ số	β (độ)				
	0	30	70	90	110
ε	1,0	0,80	0,65	0,61	0,588
μ	0,97	0,78	0,63	0,59	0,57

Ghi chú: Theo đề nghị của P. G. Kixêlôp có thể bỏ qua vận tốc đến v_o nếu như:

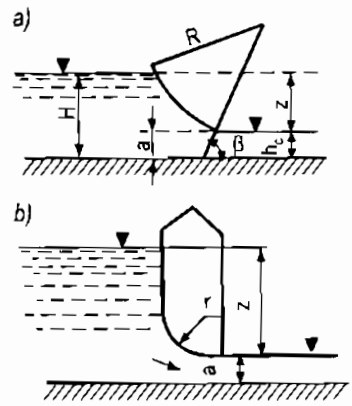
$$v_o = 0,885\sqrt{z} \qquad (5\text{-}34)$$

Khi đó lấy:

$$v = \varphi\sqrt{2g(h - \varepsilon a)} \qquad (5\text{-}35)$$

Sai số khi đó chỉ trong khoảng 2%.

Đối với các lỗ đáy được đóng bằng van cong có mặt nhẵn, có thể lấy (hình 5.15):



Hình 5.15

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Đối với hình 5.15a: khi $\beta = 45^0$ $\mu = 0,80 \div 0,85$;

khi $\beta = 60^0$ $\mu = 0,85 \div 0,90$;

khi $\beta = 90^0$ $\mu = 0,90 \div 0,95$.

Đối với hình 5.15b: khi $\frac{a}{r} \leq 1,0$ $\mu = 0,9$

Hệ số co hẹp thẳng đứng $\varepsilon = \frac{h_c}{a}$ của luồng chảy dưới cửa van đặt thẳng đứng (dạng cong trong bình điện; mặt lõi đặt theo hướng dòng chảy), có thể lấy bằng[1]:

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_{ph}}{1 + 1,05\frac{a}{R}} \qquad (5\text{-}36)$$

trong đó:

a - độ mở của cửa van;

R - bán kính cong của cửa van trên bình điện;

ε_{ph} - hệ số co hẹp theo hướng đứng khi chảy dưới cửa van phẳng (thẳng trong bình điện) (xem bảng 5.5);

h_c - độ sâu dòng chảy tại khoảng cách bằng trị số độ mở a của cửa van.

Thí dụ: Xác định lưu lượng Q' của nước chảy tự do đưới cửa van, nếu cột nước trước cửa van H = 2m; độ mở a = 0,70m; chiều rộng của lỗ b = 3m.

Giải:

1- Tìm độ co hẹp dòng chảy:

$$n = \frac{a}{H} = \frac{0,7}{2} = 0,35$$

2- Xác định hệ số co hẹp dòng chảy theo công thức (5-15) (cũng xem bảng 5.5):

$$\varepsilon = 0,57 + \frac{0,043}{1,1 - n} = 0,57 + \frac{0,043}{1,1 - 0,35} = 0,627$$

3. Khi chảy tự do (không ngập) lưu lượng xác định theo công thức (5-32) (trong lần gần đúng thứ nhất lấy $\varphi = 1$):

$$Q = \varphi \frac{\varepsilon}{\sqrt{1 + \varepsilon n}} ba\sqrt{2gH} = \frac{0,627}{\sqrt{1 + 0,627.0,35}} = 3.0,70.4,43\sqrt{2} = 7,45 \ m^3/s$$

---

[1] Vaxilep. O. F. "Báo cáo VHLKHLX", 1956. Tập 106, N° 5.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

4. Đối với các tính toán chính xác hơn, cần xác định vận tốc đến

$$v_o = \frac{Q}{bH} = \frac{7,45}{3,2} = 1,24 \text{ m/s}$$

và số Frut đối với dòng chảy đi tới:

$$Fr = \frac{v_o^2}{gH} = \frac{1,24^2}{9,81.2} = 0,078$$

Sau đó theo bảng 5.4 ta tìm thấy $\varphi = 0,96$ là trị số ứng với số Frut ấy.

5. Trong lần gần đúng thứ hai, lưu lượng

$$Q' = 0,96Q = 0,96.7,45 = 7,15 \text{ m}^3/\text{s}$$

5.6. VÒI VÀ ỐNG NGẮN (CHẢY QUA LỖ TRONG THÀNH DẦY)

Công thức lưu lượng tổng quát cho tất cả các vòi và ống ngắn là:

$$Q = \mu\omega\sqrt{2gH} \qquad (5\text{-}37)$$

trong đó:

ω - diện tích lỗ ra;

H - cột nước kể từ trọng tâm lỗ ra, hoặc độ chênh mực nước ở thượng lưu và hạ lưu khi vòi bị ngập;

μ - hệ số lưu lượng tính cho mặt cắt ra.

Vòi trụ tròn gắn ngoài. Khi lỗ vào sắc cạnh, độ dài của vòi phải là $l \geq 3d$. Trong điều kiện đó, các hệ số lưu lượng, vận tốc co hẹp và sức cản có trị số sau đây (trong khu bình phương sức cản):

$$\varphi = \mu = 0,82; \qquad \varepsilon = 1,0; \qquad \zeta = 0,50$$

Đại lượng tổn thất năng lượng trong vòi trụ tròn gắn ngoài (tính bằng phần trăm cột nước) bằng:

$$p = \frac{\zeta}{1+\zeta}100 = \frac{0,5}{1+0,5}100 = 33\%$$

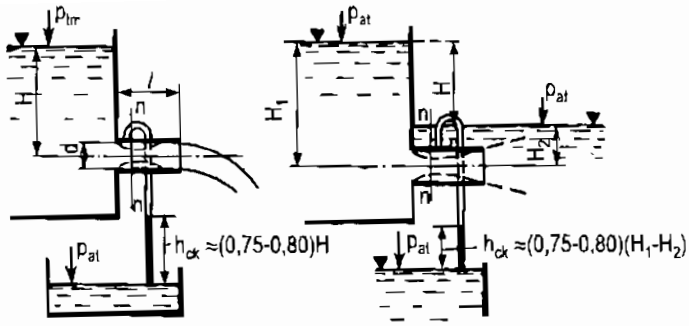
Như vậy tổn thất năng lượng trong vòi lớn hơn nhiều lần so với tổn thất khi chảy qua lỗ thành mỏng.

Trong vòi xuất hiện chân không. Ở chỗ mặt cắt co hẹp (mặt cắt n-n, hình 5.16) chân không đạt giá trị lớn nhất bằng:

$$h_{ck\,max} = (0,75 \div 0,8)H \qquad (5\text{-}38)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



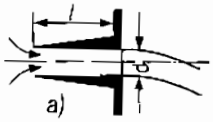
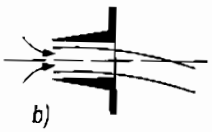
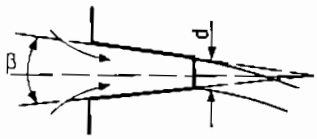
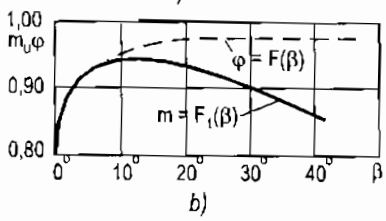
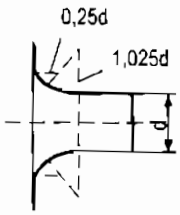
Hình 5.16

Bảng 5.7. Trị số các hệ số chảy ra của vòi (trong khu bình phương sức cản)

Loại vòi và điều kiện chảy	Hệ số			
	μ	φ	ε	ζ
1	*2*	*3*	*4*	*5*
Vòi trụ tròn				
a) Cạnh vào sắc ($l \geq 3d$)...	0,82	0,82	1,00	0,50
b) Cạnh vào tròn, chảy vào đều, trung bình bằng	0,95	0,95	1,00	0,06
c) Cạnh vào sắc, trục vòi nghiêng 1 góc β so với mặt phẳng cột nước				
β = 0°	0,82	–	–	–
β = 10°	0,80	–	–	–
β = 20°	0,78	–	–	–
β = 30°	0,76	–	–	–
β = 40°	0,75	–	–	–
β = 50°	0,73	–	–	–
β = 60°	0,72	–	–	–
d) Khi chiều dài vòi $l \geq 3d$ (theo GS. V. Jurin), nếu $l' = l/d$				
$l' = l$	0,62	–	–	–
$l' = 3$	0,82	–	–	–
$l' = 5$	0,79	–	–	–
$l' = 10$	0,77	–	–	–
$l' = 25$	0,78	–	–	–

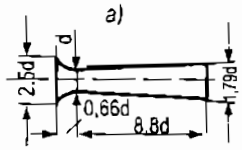
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

1	2	3	4	5
$l' = 50$	0,64	–	–	–
$l' = 70$	0,58	–	–	–
$l' = 100$	0,55	–	–	–
 **Vòi trụ tròn gắn phía trong**				
a) Khi $l > 3d$	0,71	0,71	1,00	1,00
b) khi $l < 3d$	0,51	0,97	0,53	0,06
				
Vòi hình chóp thu nhỏ				
Khi góc hình chóp $\beta = 12^{o} \div 15^{o}$, trung bình bằng	0,94	0,96	0,98	0,09
Quan hệ giữa μ, φ với góc hình chóp β được biểu diễn trong đồ thị b) ở dưới				
 a)				
 b)				
Vòi Côndit (theo dạng luồng chảy)				
 a) Theo dạng như hình vẽ	0,97	0,97	1,00	0,06
b) Theo dạng khác, nhưng cũng giống như dạng trên, có phụ thuộc vào cột nước	0,959÷0,994	0,959÷0,994	1,00	từ 0,08÷0,01
Vòi theo kiểu đặt ở đầu ống của ống chữa cháy				
Tùy theo hình dạng đầu ống	0,97 ÷ 0,99	–	–	–

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

1	2	3	4	5
Kiểu I  a)	**Vòi hình chóp mở rộng**			
	a) Góc hình chóp 5° ÷ 7°, trung bình bằng	0,45÷0,50	0,45÷0,50	1,00	3,94÷3,00
	b) Theo kiểu I với β = 5°	0,483	0,483	1,00	3,3
 b)	c) Theo kiểu II (đoạn I theo xiclôit, đoạn II, III, IV, V theo hình chóp, β = 5°)				
Kiểu II  c)					
	Ứng với điều kiện cấu tạo vòi khác nhau				
	a) Vòi gồm đoạn I	0,927÷0,944	–	–	–
	b) Vòi gồm đoạn I và II	1,481÷1,595	–	–	–
		0,726÷0,782	–	–	–
	c) Vòm gồm đoạn I, II và III	1,893÷2,123			
		0,359÷0,402	–	–	–
	d) Vòi gồm đoạn I, II, III và IV	0,209÷0,244	–	–	–
	e) Vòi gồm đoạn I, II, III, IV và V	2,055÷2,261	–	–	–
		0,128÷0,140			

Ghi chú: Các con số đầu tiên ứng với mặt cắt a-a, các con số hàng thứ hai ứng với mặt cắt ra. Các trị số của hệ số μ được tính với chiều dài của mỗi đoạn 0,305m, đường kính trong mặt cắt a-b, d = 0,306m và trong mặt cắt ra của đoạn V, d = 0,125m.

Để cho dòng chảy qua vòi không mất tính chất liên tục, cột nước giới hạn H_{gh} tại mặt co hẹp phải bằng:

$$H_{gh} = \frac{\frac{p_{atm}}{\gamma}}{(0,75 - 0,80)} \qquad (5\text{-}39)$$

Thí dụ: trong điều kiện áp suất không khí bình thường (760mmHg) thì H_{gh} từ 13,0m đến 14,0m cột nước.

Trong thực tế đề nghị không lấy $h_{ck} > 9,0$m cột nước.

Các trị số của các hệ số μ, φ, ε và ζ đối với các hình dạng vòi khác nhau ghi trong bảng 5.7.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

5.7. TÍNH TOÁN ỐNG XẢ NƯỚC TRONG ĐẬP

a) Ống xả nước có đường kính không đổi theo chiều dài (hình 5.17)

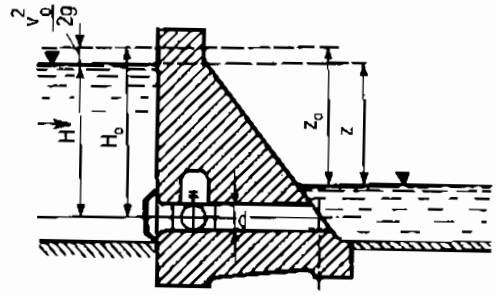
Công thức lưu lượng:

Khi chảy vào không khí (hình 10.37):

$$Q = \mu \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2gH_o} \qquad (5\text{-}40)$$

Khi nước chảy ngập (không xét đến độ chênh khôi phục, xem mục 10-17; điều đó có trong trường hợp lỗ ngập nặng và chiều rộng ở hạ lưu B >> d)

$$Q = \mu \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2gz_o} \qquad (5\text{-}41)$$



Hình 5.17: *Ống xả có đường kính không đổi*

Hệ số lưu lượng μ được tính theo công thức:

$$\mu = \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \Sigma\zeta + \frac{\lambda l}{d}}} \qquad (5\text{-}42)$$

trong đó: Σζ - tổng các hệ số của tất cả các sức cản cục bộ.

Đối với ống xả bị ngập, trong công thức (5-12), Σζ gồm tất cả các sức cản cục bộ, trừ sức cản khi chảy ra, vì nó đã được đánh giá bằng con số 1 đặt ở trước; như thế, đối với trường hợp này tổng của các hệ số tổn thất cục bộ bằng (1 + Σζ).

Trong tính toán sơ bộ có thể dùng các trị số sức cản sau đây:

• *Hệ số sức cản cục bộ ζ:*

1- Lưới ở chỗ vào (nếu theo đồ án có đặt lưới[1])

$$\zeta_l' = \xi_l \left(\frac{\omega}{\Omega}\right)^2 \approx 1{,}5\left(\frac{\omega}{\Omega}\right)^2 \approx 1{,}5\left(\frac{d}{d_l}\right)^4$$

trong đó: $\omega = \frac{\pi d^2}{4}$ - diện tích mặt cắt ống xả;

Ω - diện tích tại buồng nước vào (hình 5.17).

2- Lỗ vào (chảy vào thuận) ζ = 0,05.

---

[1] Chính xác hơn, xem chương 4.

https://tieulun.hopto.org

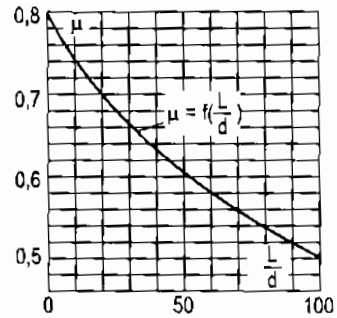
www.thuvien247.net

3. Cửa van ống xả, tùy theo cấu tạo của nó: cửa hình đĩa khi mở hoàn toàn $\zeta = 0,10$; khi không biết cấu tạo $\zeta = 0,20$.

• *Hệ số ma sát thủy lực λ:*

Đối với đường kính lớn $\lambda \approx 0,025$, không phụ thuộc vật liệu của thành ống. Trong các tính toán với độ chính xác cao hơn và khi chiều dài ống L lớn, λ được xác định theo công thức đã nêu ở trên (chương 4).

Trong tính toán sơ bộ, khi sơ đồ cấu tạo đường xả nước không được rõ ràng, nhưng dòng chảy vào đều, có thể lấy trị số của hệ số μ theo đồ thị hình 5.18.



Hình 5.18

• *Các bài toán chính trong tính toán thuỷ lực về đường xả nước:*

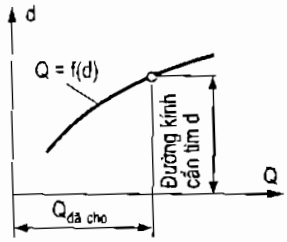
1- Xác định lưu lượng Q khi cho đường kính ống d, chiều dài L và cột nước H.

2- Xác định cột nước H khi cho biết đường kính ống d, chiều dài L và lưu lượng Q.

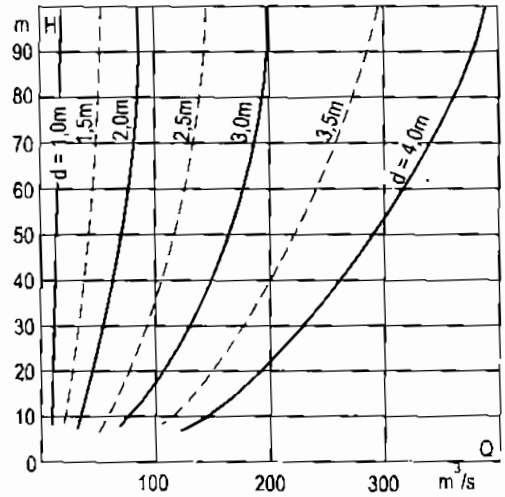
Cả hai bài toán trên đều giải bằng cách tính trực tiếp đại lượng cần tìm theo công thức cơ bản (5-40).

3- Xác định đường kính ống xả d khi cho trước lưu lượng Q, cột nước H và chiều dài ống xả L.

Giải bài toán này bằng phương pháp đồ giải sẽ tiện hơn. Muốn vậy vẽ trước đường cong $Q = f(d)$ (hình 5.19), tính các lưu lượng Q_1, Q_2, Q_3... đối với một loạt các giá trị đường kính d_1, d_2, d_3... chọn trước tùy ý.



Hình 5.19



Hình 5.20: *Đồ thị để xác định lưu lượng của ống xả hình trụ*

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Để xác định đại thể nhưng nhanh chóng đường kính trong các tính toán sơ bộ, có thể sử dụng đồ thị (hình 5.20).

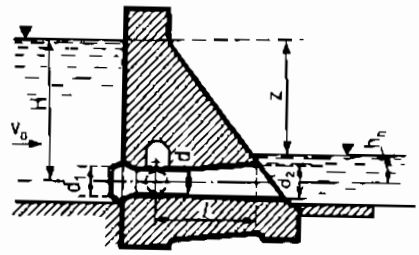
b) Ống xả có đường kính thay đổi theo chiều dài (hình 5.21)

Công thức lưu lượng khi chảy vào không khí (hình 10-37):

$$Q = \mu\omega_{ra}\sqrt{2gH_o} \qquad (5\text{-}43)$$

khi chảy dưới mực nước (ống xả ngập khi độ hạ thấp khôi phục không lớn, mục 10.17) :

$$Q = \mu\omega_{ra}\sqrt{2gz_o} \qquad (5\text{-}44)$$



Hình 5.21: Ống xả có mặt cắt thay đổi

trong đó: μ - hệ số lưu lượng, bằng:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1+\sum\zeta}} \qquad (5\text{-}45)$$

ω_{ra} - diện tích mặt cắt ra của ống bằng $\pi d^2/4$.

Nếu ở lối vào có lưới chắn rác, còn phần ra của ống được cấu tạo theo kiểu vòi mở rộng thì:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1+\zeta_l\left(\frac{d_2}{d_1}\right)^4 + (\zeta_{vào}+\zeta_{van})\left(\frac{d_2}{d_1}\right)^4 + \zeta_{mr}}} \qquad (5\text{-}46)$$

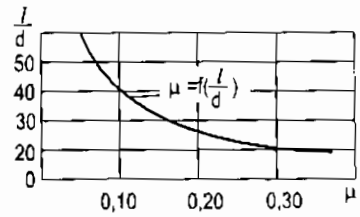
trong đó: d, d_1, d_2 được chỉ rõ trong hình 5.21.

Các hệ số sức cản ζ cũng có giá trị như đối với ống xả có đường kính không đổi.

Trong các tính toán sơ bộ, có thể lấy các giá trị hệ số lưu lượng μ như sau (với giả thiết là các yếu tố cấu tạo, ống xả có dạng thuận với góc mở rộng ống $\beta = 5 \div 6^o$):

l/d	20	30	40	50
μ	0,32	0,17	0,10	0,07

Với các *l*/d khác, giá trị μ xem trên hình 5.22.



Hình 5.22: Đồ thị để xác định các giá trị gần đúng của hệ số lưu lượng μ đối với ống xả có mặt cắt thay đổi (góc mở rộng $\beta = 5 \div 6^o$)

Thí dụ: Cho H_o = 10m; đường kính chỗ ống bị co hẹp d_1 = 0,5m; đường kính của lỗ ra d_2 = 1m; chiều dài phần mở rộng của ống xả *l* = 10m. Xác định lưu lượng nước Q.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Giải:

Lấy gần đúng $\mu = 0,32$ (với $l/d = 20$), ta được:

$$Q = 0,32.0,785\sqrt{2.9,81.10} = 3,5 \ m^3/s$$

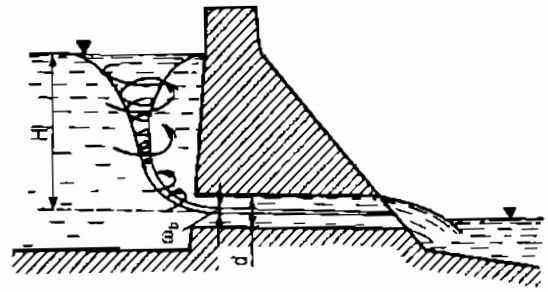
Trong cùng những điều kiện như vậy, lưu lượng của ống xả hình trụ với đường kính d = 0,5m sẽ bằng:

$$Q' \cong 0,71\frac{\pi.0,5^2}{4}\sqrt{2g.10} \cong 1,95 \ m^3/s < 3,5 \ m^3/s$$

Ở đoạn vào của ống xả, làm việc giống như vòi, sẽ hình thành chân không mà trị số $h_{ck} = \frac{p_{ck}}{\gamma}$ có thể được xác định theo phương trình Becnuli. Giá trị cho phép của chân không được xác định bằng các tính toán đặc biệt (xem mục 10.19c).

5.8. SỰ TẠO THÀNH PHỄU KHI CHẤT LỎNG CHẢY QUA LỖ

Khi chất lỏng chảy qua lỗ lớn ở các cột nước nhỏ và khi tháo cạn bình chứa thường thấy hình thành các phễu. Quá trình chảy này phức tạp và có liên quan đến sự quay của chất lỏng đối với đường trục của phễu. Cường độ quay của phễu có thể lớn đến mức tạo nên một dải không khí (lõi) của phễu, chiếm toàn bộ chiều dày của chất lỏng và ăn sâu vào lỗ xả (hình 5.23). Khi đó, diện tích làm việc của lỗ và khả năng thoát của nó sẽ bị giảm xuống.



Hình 5.23

Hiện tượng tạo phễu còn ít được nghiên cứu[1]. Ở đây chỉ nêu ra một vài hệ thức tính toán theo số liệu của V. I. Pôlicôpxki và R. G. Perenman[2].

Cột nước phân giới tương ứng với sự xuất hiện sự gián đoạn của lõi không khí đi vào lỗ đáy có thể xác định theo công thức R. G. Perenman:

$$H_{pg} = 0,5d\left(\frac{v_0}{\sqrt{gd}}\right)^{0,55} \qquad (5\text{-}47)$$

---

[1] A. Đ. Altsul và M. S. Macgơlin, Ảnh hưởng của các phễu xoáy đến hệ số lưu lượng của dòng chảy của chất lỏng qua lỗ. Tạp chí "Kĩ thuật xây dựng thủy lợi", 1968, N° 6.

[2] V. I. Pôlicôpxki và R. G. Perenman, Sự tạo phễu trong chất lỏng có mặt thoáng, M., NXB Năng lượng quốc gia, 1969.

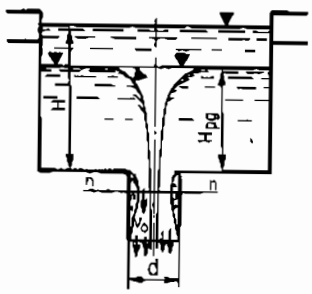
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

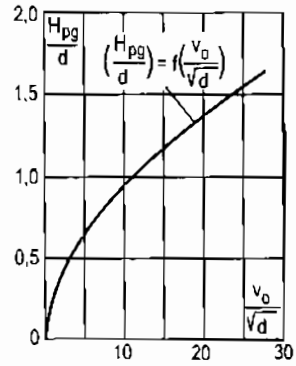
trong đó:

d - đường kính lỗ;

v_o - vận tốc trung bình tại mặt cắt co hẹp n-n (hình 5.24) tức là tại khoảng cách khoảng gần bằng 0,5d thấp hơn mặt phẳng lỗ.



Hình 5.24



Hình 5.25: *Đồ thị để xác định cột nước phân giới (lỗ đặt nằm ngang)*

Để tính toán theo công thức trên, nên dùng đồ thị hình 5.25. Cột nước phân giới tính theo công thức (5-47) đặc trưng cho sự chảy với phễu không ổn định. Phễu ổn định xuất hiện khi cột nước

$$H_{pg} \le 0,36d\left(\frac{v_o}{\sqrt{gd}}\right)^{0,67} \qquad (5\text{-}48)$$

Với vận tốc v_o và đường kính lỗ d cho trước, sau khi tính được tỉ số $\frac{v_o}{\sqrt{gd}}$ có thể tìm được tỉ số $\frac{H_{pg}}{d}$ theo đồ thị. Nếu thấy cột nước $H < H_{pg}$ thì phễu không khí sẽ ăn sâu vào lỗ.

Thí dụ: Đường kính lỗ đáy d = 1m còn lưu lượng nước Q = 3 m^3/s. Xác định với cột nước H_{pg} nào thì phát sinh gián đoạn không khí vào lỗ và với lưu lượng cho trước ấy có khả năng gián đoạn không, nếu sự chảy xảy ra ngay trong khí quyển.

Giải:

1- Ta xác định vận tốc chảy ở mặt cắt co hẹp (n-n) (hình 5.24)

$$v_o = \frac{Q}{\omega_o} = \frac{Q}{\varepsilon\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{4.3}{0,64.3,14.1^2} = 6 \text{ m/s}$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

2- Tìm cột nước phân giới:

$$H_{pg} = 0,5d\left(\frac{v_0}{\sqrt{gd}}\right)^{0,55} = 0,5.1\left(\frac{6}{\sqrt{9,81.1}}\right)^{0,55} = 0,72m$$

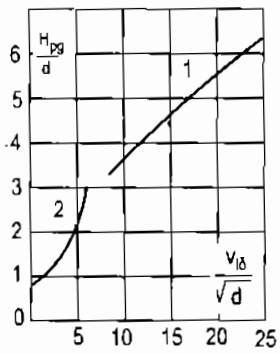
3. Tiếp đó xác định cột nước cần thiết để xả qua lỗ với lưu lượng đã cho $Q = 3\ m^3/s$.

$$H = \frac{Q^2}{\mu^2\omega^2 2g} = \frac{3^2}{(0,62.0,785)^2.2.9,81} = 1,92m > 0,72m$$

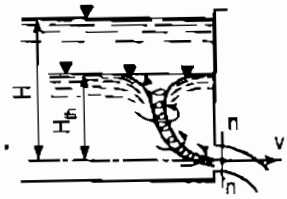
Như vậy $H > H_{pg}$; cột nước thực tế H lớn hơn H_{pg} và sự gián đoạn của phễu vào trong lỗ không xảy ra. Lỗ được đặt sâu ở mức độ đầy đủ.

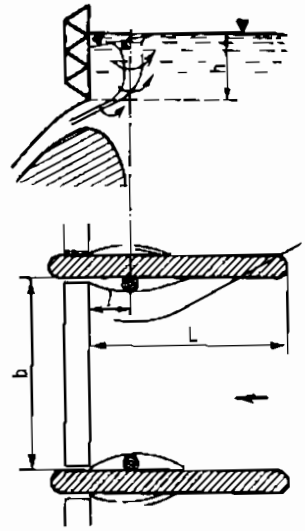
Nếu lỗ đặt trên vách đứng và ở ngay gần đáy thì việc kiểm tra khả năng gián đoạn của phễu không khí vào trong lỗ cũng tiến hành tương tự như trường hợp trước, nhưng sử dụng đồ thị ở hình 5.26. Cũng trường hợp này, nếu lỗ đặt xa đáy, thì tính toán sẽ tiến hành tương tự như tính toán lỗ đáy theo đồ thị trên hình 5.25.

Khi chảy ở bên dưới các cửa van công trình thủy lợi, cũng có thể xảy ra sự hình thành phễu ở trong các góc tạo thành bởi cửa van và trụ giữa (hình 5.27)[1]. Các phễu có cường độ lớn nhất sẽ hình thành ở các trụ ngắn, mà chiều dài của chúng không quá 0,5 ÷ 0,8 chiều rộng của khoang.



Hình 5.26: Đồ thị xác định cột nướcphân giới (lỗ đặt thẳng đứng)





Hình 5.27

[1] X. M. Ixaakian, "Thông báo Viện HLKH Acmêni", 1955, t.78. N° 2.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Chương 6

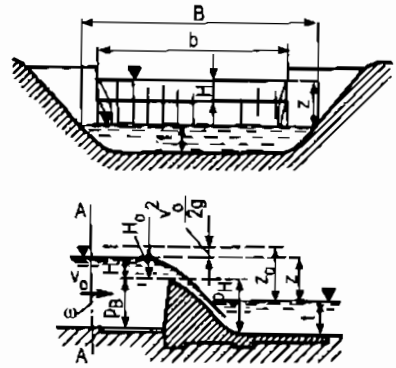
ĐẬP TRÀN

6.1. CÁC KÝ HIỆU VÀ CÔNG THỨC CƠ BẢN

H và z - cột nước và độ chênh mức nước tại đập tràn;

H_o và z_o - cột nước và độ chênh mực nước tại đập tràn có xét đến vận tốc đến gần:

$$H_o = H + \frac{v_o^2}{2g} \text{ và } z_o = z + \frac{v_o^2}{2g}$$



Hình 6.1

v_o - vận tốc đến gần được xác định như vận tốc trung bình trước công trình, tức là theo công thức $v_o = Q/\omega$, trong đó ω - diện tích mặt cắt ướt của toàn dòng chảy (mặt cắt A-A, hình 6.1).

p_t và p_h - độ cao của thân đập tràn ở thượng lưu và hạ lưu;

b - chiều rộng của đập tràn (chiều dài của đỉnh đập).

Đập tràn chia làm ba loại chính:

1. Đập tràn thành mỏng hoặc đập tràn sắc cạnh;
2. Đập tràn mặt cắt thực dụng (tường tràn), có mặt cắt ngang hình dạng khác nhau;
3. Đập tràn đỉnh rộng.

Mỗi đập tràn tùy theo hình dạng của nó trên bình diện và cách bố trí đối với dòng nước đến, có thể là đập thẳng hoặc cong (trường hợp cá biệt là tròn); đập thẳng đứng - thẳng góc với lòng dẫn đến; đập chéo tức là làm thành một góc đối với lòng dẫn đó hoặc đập tràn bên. Ngoài ra, tùy theo hình dạng của khoang tràn, đập tràn có thể phân thành đập dạng chữ nhật, dạng hình thang, tam giác và cong (trường hợp cá biệt, hình parabôn).

Công thức cơ bản để tính tất cả các dạng đập tràn là:

$$Q = mb\sqrt{2g}H_o^{3/2} \quad (6\text{-}1)$$

hoặc là:

$$Q = mb\sqrt{2g}H^{3/2} \quad (6\text{-}2)$$

trong đó: m - hệ số lưu lượng không thứ nguyên có trị số khác nhau đối với các loại đập tràn khác nhau và đối với các điều kiện làm việc khác nhau.

https://tieulun.hopto.org

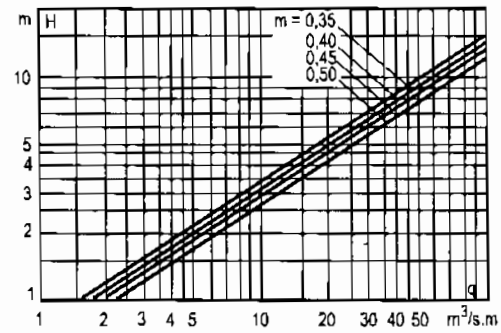
www.thuvien247.net

Vận tốc đến gần, độ co hẹp bên và độ ngập ở hạ lưu có ảnh hưởng đáng kể đến trị số lưu lượng Q. Đập tràn được gọi là chảy không ngập nếu mức nước của mặt thoáng ở hạ lưu không ảnh hưởng đến dòng chảy qua đập. Trong công thức (6-1), ảnh hưởng của vận tốc đến v_o được xét bằng đại lượng H_o.

Giá trị của hệ số m đối với các đập tràn chảy không ngập trong các tính toán sơ bộ, có thể lấy như sau:

- Đập tràn thành mỏng m = 0,42;
- Đập tràn mặt cắt thực dụng không có chân không m = 0,45;
- Đập tràn mặt cắt thực dụng có chân không m = 0,50;
- Đập tràn đỉnh rộng m = 0,35.

Cách xác định chính xác hơn hệ số m cho từng loại đập sẽ được chỉ dẫn riêng ở bên dưới.



Hình 6.2: *Đồ thị để xác định lưu lượng* $q = Q/b = m\sqrt{2g}H^{3/2}$

Trị số lưu lượng đơn vị chảy qua một mét chiều dài của đỉnh đập tính theo công thức:

$$q = \frac{Q}{b} = m\sqrt{2g}H^{3/2}$$

tương ứng với các trị số khác nhau của m ghi trong bảng 6.1 và hình 6.2.

Bảng 6.1. Trị số lưu lượng (trên 1 mét chiều dài) của đập ứng với các cột nước H và hệ số lưu lượng m khác nhau $q = Q/b = m\sqrt{2g}H^{3/2}$ **(m³/s.m)**

H (m)	m			
	0,35	0,40	0,45	0,50
1	*2*	*3*	*4*	*5*
0,10	0,049	0,056	0,063	0,070
0,15	0,090	0,108	0,116	0,129
0,20	0,139	0,158	0,178	0,198
0,25	0,194	0,222	0,294	0,277
0,30	0,255	0,291	0,328	0,364
0,35	0,321	0,367	0,413	0,458
0,40	0,395	0,452	0,508	0,565
0,45	0,468	0,535	0,601	0,668
0,50	0,549	0,628	0,706	0,785

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

1	2	3	4	5
0,55	0,632	0,723	0,813	0,908
0,60	0,721	0,824	0,927	1,030
0,65	0,812	0,929	1,044	1,161
0,70	0,906	1,360	1,165	1,295
0,75	1,007	1,149	1,294	1,438
0,80	1,109	1,268	1,426	1,585
0,85	1,214	1,388	1,561	1,735
0,90	1,323	1,512	1,701	1,840
0,95	1,435	1,640	1,845	2,050
1,00	1,550	1,772	1,993	2,215
1,10	1,778	2,044	2,299	2,555
1,20	2,037	2,328	2,619	2,910
1,30	2,296	2,624	2,952	3,280
1,40	2,569	2,936	3,303	3,670
1,50	2,849	3,256	3,663	4,070
1,60	3,136	3,580	4,032	4,480
1,70	3,487	3,928	4,419	4,910
1,80	3,745	4,280	4,815	5,360
1,90	4,060	4,940	5,520	5,800
2,00	4,382	5,008	5,634	6,260
2,50	6,127	7,005	7,878	8,756
3,00	8,053	9,273	10,36	11,51
3,50	10,15	11,60	13,25	14,50
4,00	12,40	14,18	15,94	17,72
5,00	17,33	19,81	22,28	24,76
6,00	22,78	26,05	29,30	32,56
7,00	28,71	32,82	36,91	41,02
8,00	35,08	40,10	45,10	50,13
9,00	41,85	47,84	53,79	59,81
10,00	49,01	56,03	63,02	70,04

Ghi chú:

1. Để xác định lưu lượng Q của đập tràn khi đã biết chiều rộng b, phải nhân các trị số trong bảng với b.

Thí dụ: khi b = 15m; m = 0,40; H = 2,5 thì Q = 7,005.15 = 105,07 m^3/s.

2. Để xác định q với các hệ số lưu lượng m không có trong bảng, thì phải nhân các trị số q trong bảng với tỉ số m_{cho}/m_{bg}.

Thí dụ: xác định q với $m_{cho} = 0,38$, H = 2,5m.

Ta tìm được $q = q_{bg}\frac{m_{cho}}{m_{bg}} = 7,005\frac{0,38}{0,40} = 6,66\ m^3/p.m$

https://tieulun.hopto.org

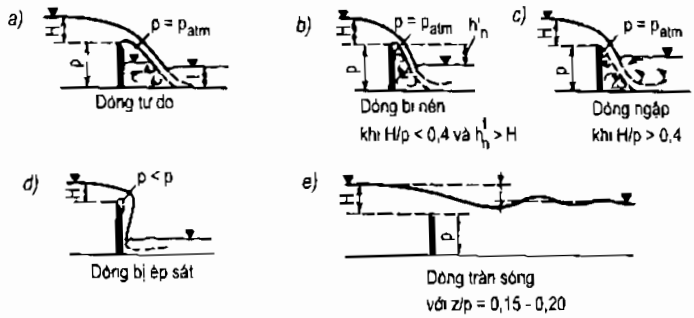
www.thuvien247.net

6.2. CÁC HÌNH DẠNG CƠ BẢN CỦA LUỒNG CHẢY

a) Luồng chảy tự do được hình thành khi không khí lưu thông dễ dàng dưới luồng chảy, tức là $p = p_{atm}$ (hình 6.3a).

b) Luồng chảy co hẹp và bị ngập hình thành trong trường hợp nếu khoảng không gian dưới luồng chảy không thông được với không khí. Dòng chảy sẽ hút không khí theo, tạo nên chân không, cho nên áp suất dưới luồng chảy $p < p_{atm}$ (hình 6.3b, hình 6.3c).

c) Luồng chảy ép sát hình thành trong những trường hợp đặc biệt, ví dụ như khi cột nước tăng dần từ không (từ đỉnh đập) và không khí không tiếp xúc được với khoảng không gian dưới luồng chảy (hình 6.3d).



Hình 6.3

Sự ổn định của các dạng luồng chảy ấy khác nhau. Kém ổn định nhất là luồng chảy ép sát mà khi nó tách ra được khỏi đập tràn thì nó biến thành dòng chảy bị co hẹp và không trở lại vị trí ban đầu nữa. Ổn định nhất là luồng chảy tự do khi không khí lưu thông dễ dàng dưới luồng.

d) Luồng chảy hình sóng hình thành khi $z/p \approx 0,15 \div 0,20$ (hình 6.3e). Theo Quy phạm và Tiêu chuẩn kĩ thuật của Bộ Điện Liên Xô năm 1951, ta có:

Khi $z/p \approx 0,15$ luôn luôn xảy ra "chảy mặt";

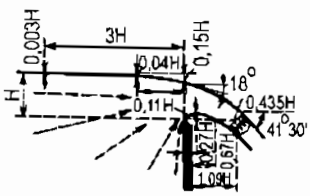
Khi $z/p > 0,30$ luôn luôn xảy ra "chảy đáy", khi đó không bao giờ xảy ra "luồng chảy dạng sóng";

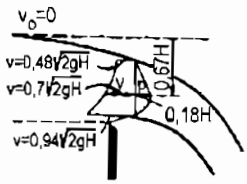
Khi $0,15 < z/p < 0,30$ chuyển động trở nên không ổn định và lúc đó có thể xảy ra "chảy mặt" với luồng dạng sóng hoặc "chảy đáy".

Hình dạng của luồng chảy tự do, sự phân bố vận tốc và áp suất trong mặt cắt co hẹp được chỉ trên hình 6.4.

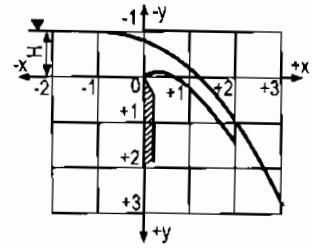
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net





Hình 6.4



Hình 6.5

Để vẽ prôfin của luồng chảy tự do, trong bảng 6.2 đã ghi trị số của các tọa độ x và y của mặt trên và mặt dưới luồng chảy với cột nước H bằng 1 mét (hình 6.5).

Bảng 6.2. Trị số của các tọa độ x và y để vẽ prôfin của luồng chảy tự do (khi H = 1) theo Quy phạm và Tiêu chuẩn kĩ thuật của Bộ Điện Liên Xô năm 1951

x	y		x	y	
	Mặt dưới của luồng	Mặt trên của luồng		Mặt dưới của luồng	Mặt trên của luồng
- 3,00	-	- 0,997	0,70	+ 0,009	- 0,569
- 2,00	-	- 0,987	0,75	0,035	- 0,538
- 1,50	-	- 0,980	0,80	0,063	- 0,506
- 1,00	-	- 0,963	0,85	0,094	- 0,472
- 0,75	-	- 0,951	0,90	0,129	- 0,436
- 0,50	-	- 0,932	0,95	0,165	- 0,398
- 0,25	-	- 0,896	1,00	0,202	- 0,357
- 0,00	- 0,000	- 0,851	1,10	0,290	- 0,27
+ 0,05	- 0,059	- 0,839	1,20	0,38	- 0,18
0,10	- 0,085	- 0,826	1,30	0,47	- 0,08
0,15	- 0,101	- 0,811	1,40	0,58	+ 0,03
0,20	- 0,169	- 0,795	1,50	0,69	0,14
0,25	- 0,112	- 0,779	1,60	0,82	0,27
0,30	- 0,111	- 0,762	1,70	0,95	0,41
0,35	- 0,106	- 0,744	1,80	1,09	0,55
0,40	- 0,097	- 0,724	1,90	1,25	0,70
0,45	- 0,085	- 0,703	2,00	1,41	0,87
0,50	- 0,071	- 0,680	2,25	1,84	1,30
0,55	- 0,054	- 0,654	2,50	2,34	1,80
0,60	- 0,035	- 0,627	2,75	2,86	2,32
0,65	- 0,013	- 5,99	3,00	3,40	2,86

Ghi chú: Các tọa độ được tính cho cột nước H = 1,00 (đối với mọi hệ thống đo lường). Để vẽ prôfin của luồng chảy tự do ứng với cột nước khác, tất cả các trị số trong bảng phải nhân với trị số của cột nước ấy.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

6.3. ĐẬP TRÀN THÀNH MỎNG (ĐẬP SẮC CẠNH)

Công thức cơ bản là công thức (6-2) đã được nêu ở trên:

$$Q = mb\sqrt{2g}H^{3/2}$$

a) Đập tràn chảy không ngập

Đối với đập tràn chảy không ngập, không bị co hẹp ở các bên, có luồng chảy tự do và vận tốc đến không đáng kể, theo số liệu thí nghiệm thì hệ số lưu lượng có thể tính theo công thức Bazanh do Hêgli hiệu chỉnh:

$$m = m_0 = 0,405 + \frac{0,027}{H} \qquad (6\text{-}3)$$

hoặc theo Quy phạm và Tiêu chuẩn kĩ thuật của Bộ Điện Liên Xô năm 1951 với điều kiện $H \geq 0,10m$ và $H \leq 2p$:

$$m = m_0 = 0,402 + 0,054\frac{H}{p_t} \qquad (6\text{-}3a)$$

trong đó: H - cột nước (m);

p_t - chiều cao thân đập (m).

Khi vận tốc đến đáng kể, hệ số lưu lượng m_0 sẽ tăng lên và ta có thể xác định nó theo công thức Bazanh:

$$m = m_0.m_1 = \left(0,405 + \frac{0,027}{H}\right)\left(1 + 0,55\frac{H^2}{(H+p)^2}\right) \qquad (6\text{-}3b)$$

trong đó hệ số: $m_1 = 1 + 0,55\frac{H^2}{(H+p)^2}$.

Như vậy thì trong phần ảnh hưởng của vận tốc đến gần đã có xét đến hệ số bổ sung m_1.

Các giá trị của hệ số lưu lượng tính theo công thức (6-3b) được ghi trong bảng 6.3.

Khi có co hẹp hai bên, hệ số lưu lượng có thể tính theo công thức:

$$m = m_0'm_1' = \left[0,405 + \frac{0,0027}{H} - 0,03\frac{B-b}{B}\right] \times \left[1 + 0,55\left(\frac{b}{B}\right)^2\left(\frac{H}{H+p_0}\right)^2\right] \qquad (6\text{-}4)$$

Khi xác định hệ số lưu lượng theo công thức (6-4) đã tính đồng thời cả ảnh hưởng co hẹp bên và ảnh hưởng vận tốc đến, trong đó b - chiều rộng tổng cộng các lỗ làm việc.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 6.3. Các giá trị của hệ số lưu lượng m của đập tràn thành mỏng chảy không ngập, không co hẹp hai bên tính theo công thức (6-3b)

Cột nước H (m)	Chiều cao thân đập p (m)					
	0,2	0,3	0,5	0,8	1,5	∞
0,05	0,469	0,464	0,461	0,460	0,459	0,459
0,06	0,463	0,457	0,453	0,451	0,450	0,450
0,08	0,458	0,449	0,443	0,441	0,439	0,439
0,10	0,458	0,447	0,439	0,435	0,433	0,432
0,12	0,461	0,447	0,436	0,432	0,429	0,428
0,14	0,464	0,448	0,436	0,430	0,426	0,424
0,16	0,468	0,450	0,436	0,428	0,424	0,422
0,18	0,472	0,453	0,436	0,428	0,423	0,420
0,20	0,476	0,455	0,437	0,428	0,422	0,419
0,22	0,480	0,459	0,439	0,428	0,421	0,417
0,24	0,484	0,462	0,440	0,428	0,421	0,416
0,26	0,488	0,467	0,442	0,429	0,420	0,415
0,28	0,492	0,468	0,444	0,430	0,420	0,415
0,30	0,496	0,471	0,446	0,431	0,420	0,414
0,35	-	0,479	0,451	0,434	0,421	0,413
0,40	-	0,468	0,457	0,437	0,0422	0,412
0,45	-	0,492	0,462	0,440	0,423	0,411
0,50	-	0,499	0,467	0,444	0,425	0,410
0,60	-	-	0,472	0,451	0,428	0,410
0,70	-	-	0,485	0,458	0,432	0,409

b) Đập tràn chảy ngập

Đập tràn trở thành chảy ngập trong các điều kiện:

1. Mức nước hạ lưu cao hơn đỉnh đập nghĩa là độ chênh mức nước z phải bé hơn cột nước H: $z < H$.

2. Sự nối tiếp giữa luồng chảy từ đập tràn đổ xuống với hạ lưu phải là nước nhảy ngập. Trong trường hợp đó, độ chênh mức nước tương đối z/p_h phải bé hơn trị số phân giới $(z/p_h)_{pg}$ của nó:

$$(z/p_h) < (z/p_h)_{pg}$$

Trị số phân giới của độ chênh mức nước tương đối (z/p_h) phụ thuộc vào hệ số lưu lượng m_o và trị số cột nước tương đối (H/p_h). Các trị số $(z/p_h)_{pg}$ được ghi trong bảng 6.4.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 6.4. Trị số phân giới của độ chênh mức nước tương đối $(z/p_H)_{pg} = f(H/p_h)$

m_o	H/p_h								
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
0,42	0,89	0,84	0,80	0,78	0,76	0,73	0,73	0,76	0,82
0,46	0,88	0,82	0,78	0,76	0,74	0,71	0,70	0,73	0,79
0,48	0,86	0,80	0,76	0,74	0,71	0,68	0,67	0,70	0,78

Trong các tính toán sơ bộ có thể lấy trung bình $(z/p_h)_{pg} \approx 0,75$.

Hệ số lưu lượng của đập tràn thành mỏng (sắc cạnh) và chảy ngập thường được xác định theo công thức Bazanh:

$$m = m'.1,05\left(1 + 0,2\frac{h_{ng}}{p_h}\right)\sqrt{\frac{z}{H}} = m'\sigma_{ng} \qquad (6\text{-}5)$$

trong đó:

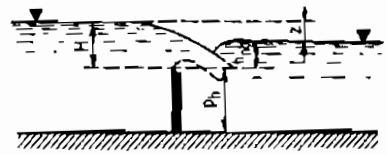
h_{ng} - độ sâu ngập (hình 6.6);

p_h - độ cao thân đập tràn;

H và z - cột nước và độ chênh mức nước trên đập tràn;

m' - hệ số xác định theo công thức (6-3a) hoặc khi có co hẹp bên thì theo công thức (6-4);

σ_{ng} - hệ số ngập.



Hình 6.6

Các giá trị của hệ số ngập: $\sigma_{ng} = 1,05\left(1 + 0,2\frac{h_{ng}}{p_h}\right)\sqrt[3]{\frac{z}{H}}$ được ghi trong bảng 6.5.

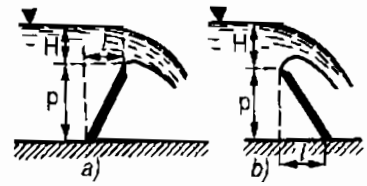
Bảng 6.5. Các giá trị của hệ số σ_{ng} dùng để tính độ ngập của đập tràn thành mỏng tùy theo độ sâu bị ngập tương đối h_{ng}/p_h và độ chênh mức nước tương đối z/p_h

z/p_h	(h_{ng}/p_h)								
	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,30	0,50	0,70	1
0,05	1,05	0,84	0,74	0,68	0,64	0,58	0,52	0,48	0,45
0,10	1,05	0,93	0,85	0,80	0,76	0,70	0,64	0,60	0,57
0,20	1,05	0,98	0,94	0,90	0,87	0,82	0,76	0,72	0,69
0,40	1,05	1,02	0,99	0,97	0,95	0,92	0,88	0,85	0,83
0,70	1,05	1,04	1,02	1,01	1,00	0,99	0,96	0,95	0,94

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Theo Quy phạm và Tiêu chuẩn kĩ thuật của Bộ Điện Liên Xô năm 1951, công thức (6-5) được dùng trong điều kiện $1,90 > H/p > 0,15$ và $1,6 \geq h_{ng}/p > 0$.



Hình 6.7

Đập tràn thành nghiêng có hệ số lưu lượng tăng hơn nếu khi thành nghiêng về phía trước (hình 6.7a) và giảm khi thành nghiêng về phía sau (hình 6.7b). Hệ số lưu lượng $m_{ngh} = k.m$, trong đó m - hệ số lưu lượng cơ bản theo công thức (6-2) và (6-3) và các công thức khác; k - hệ số hiệu chỉnh để tính ảnh hưởng của thành nghiêng. Giá trị k đã cho trong bảng 6.6.

Bảng 6.6. Giá trị của hệ số $k = m_{ngh}/m$ phụ thuộc vào l/p (lấy theo QP và TC Bộ Điện Liên Xô năm 1951)

Hướng nghiêng của tường	l/p					
	1/3	2/3	1/1	2/1	4/1	5/1
Nghiêng theo chiều dòng chảy (hình 6.7a)	1,05	1,09	1,11	1,13	1,10	1,09
Nghiêng ngược chiều dòng chảy (hình 6.7b)	0,96	0,93	0,91			

6.4. ĐẬP TRÀN MẶT CẮT THỰC DỤNG

a) Những hệ thức cơ bản

Đập tràn mặt cắt thực dụng có thể chia làm 2 nhóm:

- Nhóm I - đập tràn dạng cong: a) không có chân không và b) có chân không.
- Nhóm II - đập tràn đa giác.

Công thức tính toán[1]:

$$Q = mb\sqrt{2g}H_o^{3/2} \qquad (6\text{-}6)$$

trong đó: $H_o = H + v_o^2/2g$

v_o - vận tốc đến.

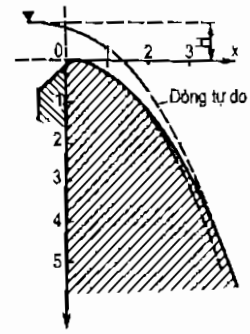
Hệ số lưu lượng phụ thuộc một cách đáng kể vào hình dạng của mặt cắt ngang thân tường đập tràn và biến động trong một giới hạn khá rộng từ m = 0,30 đến m ≅ 0,57 (về trị số của m đối với một vài mặt cắt ngang của đập tràn thường gặp

[1] Trong công thức (6-6) và về sau này, hệ số m chỉ xét đến hình dạng của mặt cắt ngang của đập tràn.

https://tieulun.hopto.org

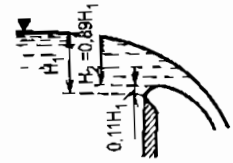
www.thuvien247.net

nhất có thể xem ở dưới đây). Đối với mỗi mặt cắt ngang, hệ số lưu lượng phụ thuộc cột nước, nghĩa là m = f(H). Đập tràn mặt cắt cong có chân không có khả năng tháo nước lớn nhất, tức là có hệ số lưu lượng lớn nhất. Hệ số lưu lượng của nó đạt đến trị số m ≒ 0,57. Trong số các mặt cắt cong không có chân không, thì mặt cắt vẽ theo hình dạng luồng chảy tự do, nhưng phình rộng ra đôi chút để bảo đảm cho luồng chảy luôn luôn ép sát vào thân đập, có ý nghĩa thực tế quan trọng (hình 6.8). Với mặt cắt như thế, hệ số lưu lượng đạt đến trị số m = 0,49.



Hình 6.8

Ghi chú: Hệ số m = 0,49 này được xác định theo hệ số lưu lượng m_o của đập tràn có mép sắc cạnh khi thay cột nước tính toán H_1 (của đập tràn thành mỏng) bằng cột nước tính toán H_2 (của đập tràn với mặt cắt hình cong). Bởi vì $H_2 = 0,89H_1$ (hình 6.8a), còn theo Bazanh $m_o = 0,045 + 0,003/H \approx 0,41$ (với H = 1m), nên tiếp đó ta có:



Hình 6.8a

$$Q = m_o b\sqrt{2g}H_1^{3/2} = mb\sqrt{2g}H_2^{3/2}$$

từ đó:
$$m = m_o\left(\frac{H_1}{H_2}\right)^{3/2} = m_o\left(\frac{H_1}{0,89H_2}\right)^{3/2}$$

cho nên:
$$m = \frac{0,41}{(0,89)^{3/2}} \approx 0,49$$

Trong tính toán đập tràn mặt cắt thực dụng, ảnh hưởng của vận tốc đến thường được xét bằng số hạng $H_o^{3/2}$ trong công thức cơ bản (6.6). Theo Quy phạm và Tiêu chuẩn của Bộ Điện Liên Xô năm 1951, việc tính toán có xét vận tốc đến nên tiến hành theo công thức:

$$Q = m_o b\sqrt{2g}H^{3/2} \qquad (6\text{-}7)$$

trong đó hệ số m_o được xác định theo đồ thị riêng trên hình 6.9 tùy theo hệ số m tương ứng với mặt cắt tính toán cho trước và tùy theo tỉ số $\frac{H}{H+p_t}$.

Để được thuận tiện, đôi khi nên sử dụng công thức sau thay cho công thức (6-6):

$$Q = m_o\left[1 + 0,55\left(\frac{H}{H+p_t}\right)^2\right] b \times \sqrt{2g}H^{3/2} = m_o m_1 b\sqrt{2g}H^{3/2} \qquad (6\text{-}8)$$

và kết quả tính toán cũng giống như công thức (6-6).

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

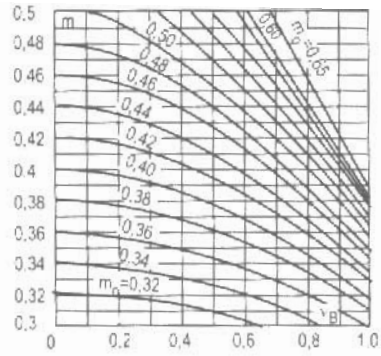
Theo Quy phạm và Tiêu chuẩn của Bộ Điện Liên Xô năm 1951 có thể không cần xét đến vận tốc đến, nếu $\Omega_{tl} > 4/BH$, trong đó: Ω_{tl} - diện tích mặt cắt ngang ở thượng lưu, $B = \Sigma b$ - chiều rộng của tuyến tràn và H - cột nước trên đập tràn.

Theo đề nghị của P. G. Kixelep thì có thể bỏ qua vận tốc đến nếu

$$v_0 < 0,75 \div 1,0 \text{ m/s}$$

hoặc nếu $v_o < v'_o$, trong đó:

$$v'_o = 0,361\sqrt{H} \text{ (m/s)} \qquad (6\text{-}9)$$



Hình 6.9

Đấy là điều sẽ ứng với độ chính xác tính toán khoảng 1 ÷ 2%.

Giá trị của v'_o được ghi ở bảng 6.7.

Bảng 6.7. Trị số $v'_o = 0,361\sqrt{H}$ tùy theo trị số của cột nước H trên đập tràn

Cột nước H (m)	v'_o, (m/s)	Cột nước H (m)	v'_o, (m/s)	Cột nước H (m)	v'_o, (m/s)
1	0,361	4	0,723	7	0,995
2	0,510	5	0,810	8	1,020
3	0,625	6	0,815	9	1,085
				10	1,142

Ảnh hưởng của co hẹp bên được xét đến bằng cách đưa vào công thức tính toán cơ bản (6-6) hệ số co hẹp ε:

$$Q = m\varepsilon b\sqrt{2g}H_o^{3/2} \qquad (6\text{-}10)$$

$$Q = mb_c\sqrt{2g}H_o^{3/2} \qquad (6\text{-}10')$$

trong đó: ε - hệ số co hẹp bên, phụ thuộc vào điều kiện vào;

$b_c = \varepsilon b$ - được gọi là "chiều rộng có hiệu quả" của đập.

Hệ số co hẹp bên ε được xác định bằng công thức Frenxit - Crighe:

$$\varepsilon = 1 - 0,1n\xi\frac{H_o}{b} \qquad (6\text{-}11)$$

trong đó:

ξ - hệ số hình dạng của các trụ bờ của đập tràn ở lối vào hoặc hệ số hình dạng của đầu các trụ;

n - số lần các vị trí co hẹp bên.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Theo số liệu của Pavlôpxki N. N., công thức (6-11) áp dụng được cho $H_o/b \le 1,0$. Nên hạn chế việc áp dụng công thức Frenxit (6-11) ở điều kiện $H_o/b \le 1/3$.

A. R. Bêrêzinxki trên cơ sở các nghiên cứu của mình đã có nhận xét là trong một số trường hợp thực tiễn quan trọng công thức (6-11) cho sự thiên lệch lớn đáng kể về ảnh hưởng của co hẹp đến trị số lưu lượng. Ông đề nghị tính đến ảnh hưởng đó bằng một hệ số lưu lượng của đập tràn xác định theo công thức:

$$m = m_o K \tag{6-12}$$

trong đó:

m_o - hệ số lưu lượng phụ thuộc vào prôfin (mặt cắt) của tường tràn;

K - hệ số lưu lượng tính đến cả ảnh hưởng của co hẹp dòng chảy khi đi qua công trình tràn và cả đặc trưng hình học p/H của lỗ tràn.

Hệ số K được tính theo công thức:

$$K = 1 - \frac{0,10}{\sqrt[3]{0,2 + \left(\frac{p}{H}\right)}} \sqrt[4]{\left(\frac{l}{B}\right)\left(1 - \frac{l}{B}\right)} \tag{6-13}$$

trong đó: p, H, l và B - lần lượt là chiều cao ngưỡng tràn, cột nước trên đập, chiều dài và chiều rộng của dòng ở thượng lưu:

Khi $l/B < 0,2$ lấy $l/B = 0,2$,

Khi $p/H > 3,0$ lấy $p/H = 3,0$.

Như vậy, giá trị nhỏ nhất của K sẽ tương ứng với $p/H = 0$, và $l/B = 0,2$. Khi đó $K_{min} = 0,91$.

Nếu như tuyến tràn bị ngăn cách bởi n lỗ với chiều rộng của các trụ trung gian bằng d thì tỉ số $\frac{l}{B} = \frac{l}{l + d}$.

Đối với toàn bộ tuyến tràn có thể lấy một cách trung bình:

$$K_{tb} = \frac{K(n-2) + 2K_o}{n} \tag{6-13'}$$

trong đó: K - hệ số của các lỗ giữa;

K_o - cũng như của các lỗ biên;

n - số lỗ tràn.

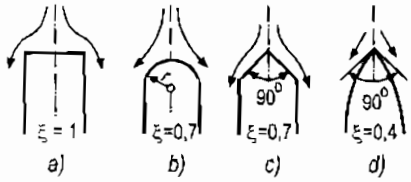
Theo Quy phạm và Tiêu chuẩn của Bộ Điện Liên Xô năm 1951, hệ số co hẹp khi chỉ có một lỗ được xác định theo công thức:

$$\varepsilon = 1 - 0,2\xi\frac{H_o}{b} \tag{6-14}$$

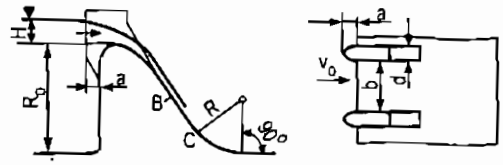
trong đó: ξ - hệ số hình dạng của các trụ bên (được lấy theo hình 6.10).

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 6.10



Hình 6.11

Nếu đập tràn có n khoang tràn riêng biệt với chiều rộng mỗi khoang là b, được ngăn cách bởi các trụ giữa, chiều dày mỗi trụ là d, thì khi chiều rộng của thượng lưu $B > n(b + d)$; $\frac{h_{ng}}{H_o} \le (0,85 \div 0,90)$, ta có thể xác định hệ số co hẹp bên ε theo công thức:

$$\varepsilon = 1 - 0,2\frac{\xi + (n+1)\xi_o}{n}\frac{H_o}{b} \qquad (6\text{-}14')$$

trong đó: ξ và ξ_o - các hệ số phụ thuộc vào vị trí của trụ trên bình diện, tức là vào đại lượng a (hình 6.11) và phụ thuộc vào hình dạng mép phía trước của nó. Các hệ đó được lấy theo bảng 6.8 và 6.9.

Bảng 6.8. Giá trị của hệ số ξ trong công thức (6-14') khi $h_{ng}/H_o < 0,75$ (theo số liệu của A. X. Ôphixêrôp)

Hình dạng đầu trụ	a/H_o		
	1	0,5	0
Hình chữ nhật (hình 6.10a)	0,20	0,40	0,80
Hình tròn (hình 6.10b, c)	0,15	0,30	0,45
Hình nhọn (hình 6.10d)	0,10	0,15	0,25

Bảng 6.9. Các giá trị của hệ số ξ_o trong công thức (6-14') khi $h_{ng}/H_o < 0,75$ (theo số liệu của A. X. Ôphixêrôp)

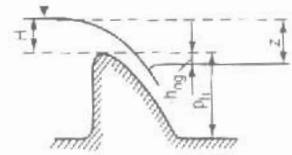
Hình dạng đầu trụ phía thượng lưu và hạ lưu trên bình diện	h_{ng}/H_o				
	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
Ở cả 2 phía đều hình chữ nhật (hình 6.10a)	0,80	0,86	0,92	0,98	1,00
Ở cả 2 phía đều tròn (hình 6.10b, c)	0,45	0,51	0,57	0,63	0,69
Ở cả 2 phía đều nhọn (hình 6.10d)	0,25	0,32	0,39	0,46	0,63

Ghi chú: Trong trường hợp này, hệ số lưu lượng phụ thuộc vào hình dạng đầu trụ ở phía thượng lưu cũng như ở hạ lưu.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Ảnh hưởng của ngập[1] đến khả năng thoát của đập tràn mặt cắt thực dụng phụ thuộc vào loại tường tràn.

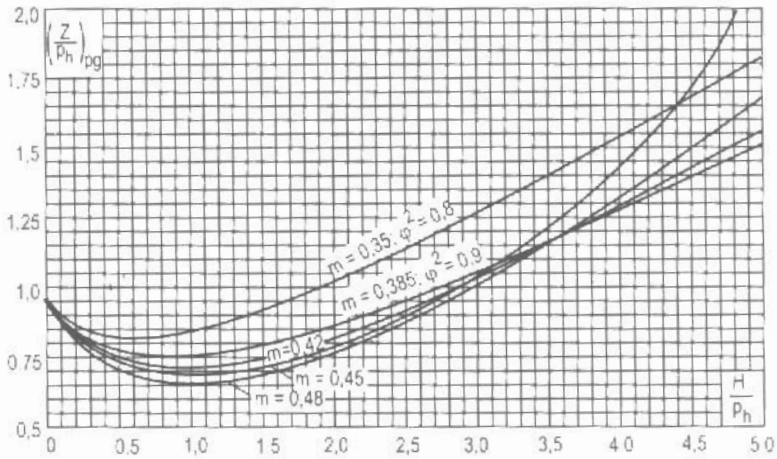


Hình 6.12

Đối với các đập tràn dạng đường cong không chân không, các điều kiện ngập cũng giống như đối với đập tràn thành mỏng, tức là đập là ngập nếu:

1. $z < H$ (hình 6.12);

2. Sự nối tiếp của dòng chảy với hạ lưu xảy ra với nước nhảy ngập. Có thể kiểm tra điều kiện này theo hệ thức: $(z/p_h) < (z/p_h)_{pg}$; giá trị phân giới của độ hạ thấp tương đối $(z/p_h)_{pg}$ được vẽ trên đồ thị hình 6.13.



Hình 6.13: *Đồ thị để xác định trị số phân giới của độ hạ thấp tương đối* $(z/p_h)_{pg} = f(H/p_h)$

Lưu lượng của đập tràn ngập được xác định theo công thức:

$$Q = m\sigma_{pg} b\sqrt{2g}H_o^{3/2} \qquad (6\text{-}15)$$

Trong hình 6.13, các đường cong với các hệ số m = 0,42; 0,45; 0,48 thuộc về các trường hợp chảy qua đập tràn thành mỏng và mặt cắt thực dụng; khi tính các trường hợp này đã lấy φ = 0,95. Các đường cong ứng với m = 0,35; 0,385 thuộc về các trường hợp chảy qua các đập tràn đỉnh rộng với φ = 0,90 và φ = 0,95.

Các giá trị bằng số của hệ số ngập đối với các mặt cắt không có chân không, theo Pavlôpxki, được chỉ rõ ở bảng 6.10; còn theo Quy phạm và Tiêu chuẩn của Bộ Điện Liên Xô (năm 1951) - trong bảng 6.11 và trên đồ thị của hình 6.14.

---

[1] Chi tiết hơn về điều kiện nước nhảy xa và nước nhảy ngập xem ở chương 9 "Chuyển động không đều của chất lỏng trong lòng dẫn hở" và chương 10 "Thủy lực công trình".

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

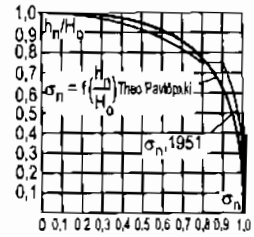
Bảng 6.10. Các giá trị của hệ số ngập σ_{ng} đối với các đập tràn mặt cắt thực dụng không có chân không (theo số liệu của N. N. Pavlôpxki)

h_{ng}/H_o	σ_{ng}	h_{ng}/H_o	σ_{ng}	h_{ng}/H_o	σ_{ng}
0,00	1,000	0,35	0,963	0,70	0,856
0,05	0,996	0,40	0,956	0,75	0,821
0,10	0,991	0,45	0,948	0,80	0,778
0,15	0,986	0,50	0,937	0,85	0,709
0,20	0,981	0,55	0,923	0,90	0,621
0,25	0,976	0,60	0,907	0,95	0,438
0,30	0,970	0,65	0,886	1,00	0,000

Bảng 6.11. Các giá trị của hệ số ngập σ_{ng} cho các mặt cắt thực dụng không có chân không (theo Quy phạm và Tiêu chuẩn Bộ Điện Liên Xô năm 1951)

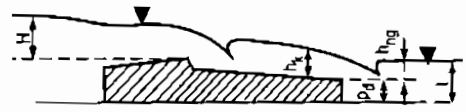
h_{ng}/H_o	σ_{ng}	h_{ng}/H_o	σ_{ng}	h_{ng}/H_o	σ_{ng}
0,00	1,000	0,35	0,988	0,70	0,933
0,05	0,999	0,40	0,983	0,75	0,91 ÷ 0,80
0,10	0,998	0,45	0,978	0,80	0,760
0,15	0,997	0,50	0,972	0,85	0,700
0,20	0,996	0,55	0,965	0,90	0,590
0,25	0,994	0,60	0,957	0,95	0,410
0,30	0,991	0,65	0,947	1,00	0,000

Đối với các đập tràn có chân không đầu tròn hoặc êlip, theo nghiên cứu của VOĐGEO (A. N. Akhutin và N. P. Rôzanôp), thì điều kiện ngập chỉ ra ở trên sẽ thay đổi và đập tràn sẽ bị ngập khi $z \leq 1{,}15H$; điều kiện thứ hai vẫn giữ nguyên như khi đập không có chân không.



***Hình 6.14**: Đồ thị để xác định hệ số ngập $\sigma_{ng} = f(h_{ng}/H_o)$*

Đối với các mặt cắt hình đa giác có dạng gần như đập tràn đỉnh rộng (ví dụ như ở hình 6.15), điều kiện ngập sẽ trùng với điều kiện ngập của đập tràn đỉnh rộng, có nghĩa là đập sẽ bị ngập khi:



Hình 6.15

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$t > p_{ng} + h_{pg}$$

trong đó: h_{pg} - độ sâu phân giới, được xác định cho trường hợp lòng dẫn chữ nhật theo công thức:

$$h_{pg} = \sqrt[3]{\frac{\alpha}{g}\left(\frac{Q}{b}\right)^2} = \sqrt[3]{\frac{\alpha q^2}{g}}$$

b) Đập tràn có mặt cắt cong và không có chân không

Khi xây dựng phần đầu của tường tràn (hình 6.16) có thể sử dụng bảng 6.12 hoặc bảng 6.13.

Bảng 6.12. Các tọa độ của phần đầu đập tràn không chân không có phần đầu của prôfin A với cột nước H = 1, (theo số liệu của Crighe - Ôphixerôp)

x	y	x	y	x	y	x	y
0,0	0,126	1,0	0,256	2,0	1,235	3,0	2,824
0,1	0,036	1,1	0,321	2,1	1,369	3,1	3,013
0,2	0,007	1,2	0,394	2,2	1,508	3,2	3,207
0,3	0,000	1,3	0,475	2,3	1,653	3,3	3,405
0,4	0,006	1,4	0,564	2,4	1,894	3,4	3,609
0,5	0,027	1,5	0,661	2,5	1,960	3,5	3,818
0,6	0,060	1,6	0,764	2,6	2,122	3,6	4,031
0,7	0,100	1,7	0,873	2,7	2,289	3,7	4,249
0,8	0,146	1,8	0,987	2,8	2,462	3,8	4,471
0,9	0,198	1,9	1,108	2,9	2,640	3,9	4,698
						4,0	4,938

Ghi chú: Các tọa độ được cho với cột nước H = 1 (trong hệ thống đo bất kì). Để vẽ mặt cắt đập ở cột nước thiết kế bằng $H_{th.k}$, tất cả các con số của bảng cần được nhân lên với cột nước đó.

Bảng 6.13. Các tọa độ để vẽ phần đầu đập tràn không chân không, có đầu prôfin dạng B (hình 6.16) với cột nước H = 1 (theo số liệu của Crighe)

x	y	x	y	x	y	x	y
0,0	0,043	0,4	0,023	1,2	0,480	2,5	2.14
0,1	0,010	0,6	0,090	1,4	0,665	3,0	3,06
0,2	0,000	0,8	0,189	1,7	0,992	3,5	4,08
0,3	0,005	1,0	0,321	2,0	1,377	4,0	5,24
						4,5	6,58

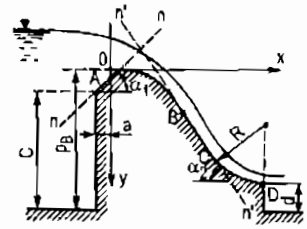
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Đối với mặt cắt B (hình 6.16); mặt chịu áp lực thẳng đứng ở cách trục Oy một đại lượng a, đại lượng này được xác định theo các điều kiện cấu tạo. Cũng theo điều kiện cấu tạo còn xác định góc nghiêng α của đầu (trên hình 6.16 góc α lấy bằng 45^0).



Hình 6.16



Hình 6.17

Cách vẽ prôfin của đập được tiến hành theo sơ đồ trên hình 6.17. Đường cong AB được vẽ theo các tọa độ (bảng 6.12 và 6.13). Sau đó từ điểm A và B vẽ đường n-n từ phía thượng lưu dưới một góc α_1 so với đường ngang và đường n-n' từ phía hạ lưu dưới góc α_2. Các góc α_1 và α_2 được xác định theo quan điểm cấu tạo.

Ghi chú: Gh. T. Đmitriep đã tính được các tọa độ của mặt cắt không chân không bằng con đường lí thuyết. Thực tế các tọa độ này trùng với các tọa độ của Crighe - Ôphixêrôp đối với prôfin AC (hình 6.16).

Sự nối tiếp của mặt tràn với lòng dẫn của hạ lưu được tiến hành theo sơ đồ vẽ trên hình 6.11, nếu như không có bậc đập ở mép dưới, hoặc theo sơ đồ trên hình 6.17 nếu có bậc đập. Trong cả hai trường hợp, để có nối tiếp thuận, cần phải làm sao cho các đường cong của mặt tràn AB và CD ở các điểm B và C được tiếp tuyến với đường BC. Nếu không có đoạn thẳng BC và 2 điểm B và C trùng nhau thì đường cong trên và dưới tại điểm nối tiếp (điểm uốn) cần phải có tiếp tuyến chung.

Phần dưới của mặt tràn cần vẽ theo một cung tròn bán kính R. Đại lượng bán kính này thường được chỉ định tùy theo độ cao của đập và cột nước (bảng 6.14). Ngoài ra có thể lấy R theo Quy phạm và Tiêu chuẩn kĩ thuật của Bộ Điện Liên Xô năm 1951.

Bảng 6.14. Các giá trị của bán kính chuyển tiếp R phụ thuộc vào cột nước trên đập tràn H và chiều cao của đập tràn p_h

P_h	H (m)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	3,0	4,2	5,4	6,5	7,5	8,5	9,6	10,6	11,6
20	4,0	6,0	9,7	8,9	10,0	11,0	12,2	13,3	14,3
30	4,5	7,5	9,7	11,0	12,4	13,5	14,7	15,8	16,8
40	4,7	8,4	11,0	13,0	14,5	15,8	17,0	18,0	19,0
50	4,8	8,8	12,2	14,5	16,5	18,0	19,2	20,3	21,3
60	4,9	8,9	13,0	15,5	18,0	20,0	21,2	22,2	23,2

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Hệ số lưu lượng:

Đối với mặt cắt A (hình 6.16) N. N. Pavlôpxki lấy hệ số lưu lượng m bằng 0,49 và với dạng mặt cắt B lấy m = 0,48. Các hệ số đó ứng với cột nước thiết kế $H_{th.k}$ mà người ta dùng để vẽ mặt cắt của đập tràn dựa theo các tọa độ trong bảng 6.12 và 6.13. Nếu cũng vẫn đập ấy, nhưng cột nước trong điều kiện vận hành công trình có thay đổi [1] thì hệ số lưu lượng cũng thay đổi.

Khi cột nước $H < H_{th.k}$, N. N. Pavlôxki đề nghị:

Với dạng mặt cắt loại A:

$$\text{Khi } \frac{H}{H_{th.k}} \le 0{,}8 \text{ lấy } m = 0{,}49\left(0{,}785 + 0{,}25\frac{H}{H_{th.k}}\right);$$
$$\text{Khi } 0{,}8 < \frac{H}{H_{th.k}} < 1{,}0 \text{ lấy } m = 0{,}49\left(0{,}88 + 0{,}12\frac{H}{H_{th.k}}\right); \qquad (6\text{-}16)$$

Với dạng mặt cắt loại B:

$$\text{Khi } \frac{H}{H_{th.k}} = 0{,}1 \div 0{,}5;\ m = 0{,}48\left(0{,}805 + 0{,}31\frac{H}{H_{th.k}}\right);$$
$$\text{Khi } \frac{H}{H_{th\,k}} > 0{,}5,\ m = 0{,}48\sqrt[20]{\frac{H}{H_{th.k}}} \qquad (6\text{-}17)$$

Khi $H > H_{th.k}$, đập tràn trở thành có chân không và hệ số lưu lượng tăng lên. Để đánh giá đúng ảnh hưởng của chân không cần phải xác định hệ số lưu lượng bằng phương pháp thí nghiệm.

Theo nghiên cứu của A. S. Ôphixerôp (VOĐGEO), với cột nước nằm trong khoảng $0{,}2 < H/H_{th.k} < 1{,}5$, hệ số lưu lượng xác định theo công thức:

$$m = m_{th\,k}\left[0{,}805 + 0{,}245\frac{H}{H_{th.k}} - 0{,}05\left(\frac{H}{H_{th.k}}\right)^2\right] \qquad (6\text{-}18)$$

trong đó: $m = m_{th.k}$ - hệ số lưu lượng ứng với cột nước bằng $H_{th.k}$, tức là cột nước dùng để vẽ mặt cắt ngang đập ấy (0,48 hoặc 0,49).

Theo nghiên cứu của N. P. Rôdanôp, cũng trong giới hạn ấy:

$$m = m_{th.k}\left[a + (1-a)\sqrt{\frac{H}{H_{th.k}}}\right] \qquad (6\text{-}19)$$

---

[1] Trong điều kiện vận hành công trình, cao trình của mức nước ở thượng lưu đôi khi thay đổi trong một phạm vi khá lớn.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

trong đó: a = 0,778 - 0,00175α (ở đây α - góc nghiêng giữa mặt chịu áp lực ở thượng lưu và đường nằm ngang tính bằng độ). Với mặt đập thẳng đứng, α = 90°, thì a = 0,62, nên ta được:

$$m = m_{th.k}\left(0,62 + 0,38\sqrt[3]{\frac{H}{H_{th.k}}}\right) \qquad (6\text{-}19')$$

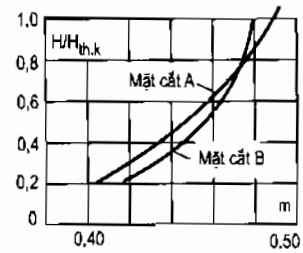
Các giá trị của hệ số m được cho trong bảng 6.15 và trên hình 6.18.

Bảng 6.15. Giá trị của hệ số lưu lượng m khi $H < H_{th.k}$ đối với đập tràn có mặt cắt ngang không có chân không tính theo các công thức N. N. Pavlôpxki (6-16), A.S. Ôphixerôp (6-18) và N. P. Rôdanôp (6-19) (với $m_{th.k}$ = 0,49 đối với dạng mặt cắt loại A và $m_{th.k}$ = 0,48 đối với dạng mặt cắt loại B)

H	Theo công thức của N. N. Pavlôpxki		Theo công thức của Ophixerôp	Theo công thức của Rôdanôp
$H_{th.k}$	Mặt cắt loại A	Mặt cắt loại B	Mặt cắt loại A	
0,2	0,409	0,416	0,417	0,413
0,4	0,434	0,446	0,439	0,441
0,5	0,440	0,461	-	-
0,6	0,458	0,467	0,458	0,461
0,7	0,470	0,471	-	-
0,8	0,483	0,475	0,475	0,477
0,9	0,487	0,478	-	-
1,0	0,490	0,480	0,490	0,490

Theo Quy phạm và Tiêu chuẩn kĩ thuật của Bộ Điện Liên Xô năm 1951, với mặt cắt ngang không có chân không vẽ theo các tọa độ Crighe - Ôphixerôp, thì nên xác định hệ số lưu lượng bằng công thức của N. N. Pavlôpxki:

$$m = \sigma_{hd}.\sigma_H.m_{th.k} \qquad (6\text{-}20)$$



***Hình 6.18**: Giá trị của hệ số m phụ thuộc vào cột nước $m = f(H/H_{th.k})$*

trong đó: hệ số $m_{th.k}$ = 0,504; hệ số σ_{hd} (hệ số hình dạng) được lấy tùy theo các góc α_1, α_2 và tỉ số c/p_1 lấy trong bảng 6.16, còn hệ số σ_H (hệ số đầy của cột nước) lấy theo góc α_1 và tỉ số $H/H_{th.k}$ được chọn theo bảng 6.17.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 6.16. Giá trị của hệ số hình dạng σ_{hd} trong công thức (6-20) đối với mặt cắt không có chân không, được vẽ theo tọa độ Crighe - Ôphixerôp (theo sơ đồ hình 6.17)

(theo Quy phạm và Tiêu chuẩn kĩ thuật của Bộ Điện Liên Xô năm 1951)

α_1 (độ)	α_2 (độ)	Khi c/p_t				
		0,0	0,3	0,6	0,9	1,0
15	15	0,880	0,878	0,855	0,850	0,933
	30	0,910	0,908	0,885	0,880	0,974
	45	0,924	0,922	0,899	0,892	0,993
	60	0,927	0,925	0,902	0,895	1,000
35	15	0,905	0,904	0,898	0,907	0,933
	30	0,940	0,939	0,932	0,940	0,974
	45	0,957	0,956	0,949	0,956	0,993
	60	0,961	0,960	0,954	0,962	1,000
55	15	0,925	0,933	0,922	0,927	0,933
	30	0,962	0,962	0,960	0,964	0,974
	45	0,981	0,981	0,980	0,983	0,993
	60	0,985	0,985	0,984	0,989	1,000
75	15	0,930	0,930	0,930	0,930	0,933
	30	0,972	0,972	0,972	0,972	0,974
	45	0,992	0,992	0,992	0,992	0,993
	60	0,998	0,998	0,998	0,999	1,000

Ghi chú: Khi góc $\alpha_1 > 75^o$, thì không phụ thuộc vào c/p_t, phải lấy các hệ số hình dạng như sau:

khi $\alpha_2 = 15^o$ $\sigma_{hd} = 0,933$

khi $\alpha_2 = 30^o$ $\sigma_{hd} = 0,974$

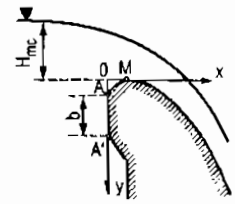
khi $\alpha_2 = 45^o$ $\sigma_{hd} = 0,993$

khi $\alpha_2 = 60^o$ $\sigma_{hd} = 1,000$

Với mặt cắt có đỉnh (theo hình 6.19), hệ số lưu lượng m lấy bằng:

a) Khi b > 3H - như đối với mặt cắt trên hình 6.11 ($\alpha_1 = 90^o$);

b) Khi b < 3H - giảm bớt khoảng 2%.



Hình 6.19

https://tieulun.hopto.org

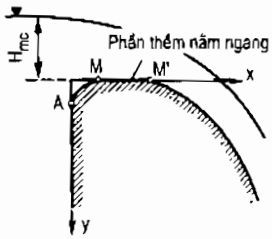
www.thuvien247.net

Bảng 6.17. Giá trị của hệ số đầy của cột nước σ_H trong công thức (6-20) đối với mặt cắt không có chân không vẽ theo tọa độ Crighe - Ophixêrôp (hình 6-17) (QP và TC của Bộ Điện Liên Xô năm 1951)

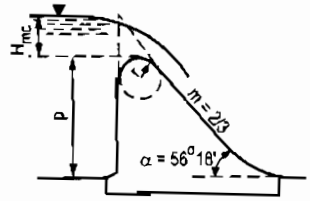
$H/H_{th.k}$	α_1 (độ)			
	15	40	65	90
0,2	0,897	0,897	0,859	0,842
0,3	0,918	0,903	0,889	0,974
0,4	0,934	0,923	0,912	0,900
0,5	0,948	0,940	0,931	0,922
0,6	0,961	0,954	0,947	0,940
0,7	0,972	0,967	0,962	0,957
0,8	0,982	0,979	0,976	0,973
0,9	0,991	0,990	0,988	0,987
1,0	1,000	1,000	1,000	1,000
1,5	1,036	1,042	1,048	1,054
2,0	1,046	1,076	1,087	1,099

Ghi chú: Trị số trung gian tính bằng cách nội suy.

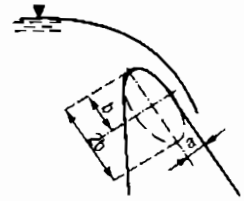
Khi có thêm một đoạn nằm ngang M - M' (hình 6-20) chiều rộng chừng 0,5H, thì hệ số lưu lượng m giảm chừng 3%. Trong trường hợp này có thể xác định hệ số lưu lượng theo công thức (6-12) của A. P. Bêrêzinxki.



Hình 6.20: Đầu có đoạn thêm nằm ngang



Hình 6.21



Hình 6.22

c) Đập tràn mặt cong có chân không

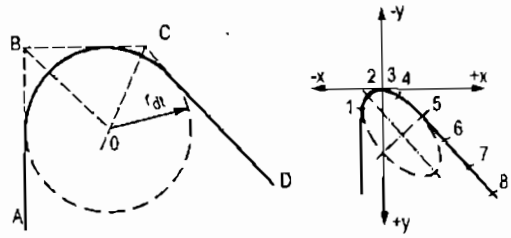
Được nghiên cứu nhiều nhất là các mặt có đỉnh tròn và đỉnh bầu dục (hình 6.21 và 6.22). Theo kết quả nghiên cứu trong phòng thí nghiệm của N. P. Rôdanôp (VOĐGEO), những mặt cong có chân không tốt nhất là loại hình êlip có b/a = 2 và b/a = 3. Trong trường hợp đó, khi $p/r_{dt} = 9,4$, hệ số lưu lượng bằng:

$$m = 0,552 \div 0,554$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Ở đây $r_{đt}$ - "bán kính ảo", tức là bán kính của vòng tròn nội tiếp trong hình thang ABCD (hình 6.23). Do đó, đối với đập có đỉnh hình tròn thì bán kính ảo bằng bán kính thật.



Hình 6.23

Bảng 6.18. Các tọa độ để vẽ mặt cắt của đập tràn có chân không có đỉnh hình êlip và tròn theo hình 6.21 và hình 6.22 (theo số liệu của N. P. Rôdanôp)

N° điểm	b/a = 1 (đầu tròn)		b/a = 2		b/a = 3	
	x	y	x	y	x	y
1	-1,000	1,000	- 0,692	0,830	- 0,470	0,629
2	- 0,736	0,330	- 0,560	0,248	- 0,368	0,189
3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4	0,585	0,208	0,629	0,226	0,541	0,173
5	1,377	1,302	1,242	0,730	1,022	0,503
6	2,434	2,896	1,682	1,278	1,456	0,800
7	3,670	4,717	2,327	2,246	1,855	1,320
8	5.462	7,424	2,956	3,789	2,240	1,792
9	-	-	4,450	5,430	2,580	2,270
10	-	-	5,299	6,704	3,193	3,214
11	-	-	6,195	8,048	4,685	5,453
12	-	-	7,767	10,405	5,561	6,767
13	-	-	8,994	12,246	6,422	8,088
14	-	-	10,208	14,067	7,998	10,442
15	-	-	11,724	16,370	9,222	12,258
16	-	-	13,365	18,803	10,438	14,082
17	-	-	-	-	11,591	16,352
18	-	-	-	-	13,587	18,805

Ghi chú: Các tọa độ x và y đều tính cho mặt cắt có bán kính ảo $r'_{đt} = 1$. Để có các tọa độ ứng với một bán kính ảo $r_{đt}$ khác, phải nhân tất cả các trị số trong bảng với $r'_{đt}$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 6.19. Giá trị của hệ số lưu lượng m ứng với các trị số khác nhau của tỉ số giữa các bản trục của êlip b/a và với trị số khác nhau $H_o/r_{đt}$ (theo số liệu của N. P. Rôdanôp)

$r_{đt}$	b/a = 1	b/a = 2	b/a = 3	r	b/a = 1	b/a = 2	b/a = 3
1,0	0,486	0,487	0,495	2,2	0,533	0,548	0,551
1,2	0,497	0,509	0,509	2,4	0,538	0,554	0,557
1,4	0,506	0,512	0,520	2,6	0,543	0,560	0,562
1,6	0,513	0,521	0,530	2,8	0,549	0,565	0,566
1,8	0,521	0,531	0,537	3,0	0,553	0,569	0,570
2,0	0,526	0,540	0,544	3,2	0,557	0,573	0,575
				3,4	0,560	0,577	0,577

Hệ số lưu lượng của mặt cắt có chân không, trung bình bằng: m = 0,55 ÷ 0,57.

Trị số của m cho đỉnh đập tròn và đỉnh êlip ghi trong bảng 6.19. Với các đỉnh hình êlip m lớn hơn so với đỉnh tròn độ 2 - 3%, còn trị số của chân không thì trái lại, bé hơn một chút.

Khi thiết kế các đập có chân không, A. N. Akhutin đề nghị không để cho trị số chân không lớn hơn 6 - 7m cột nước; còn trị số của tỉ số tính toán $H_o/r_{đt}$ không quá 3,00 - 3,30.

Trị số chân không lớn nhất dưới luồng chảy, theo nghiên cứu của N. P. Rôdanôp, bằng:

a) Với đập tràn đầu tròn: $h_{ck} = (1,39 \div 1,58)H_o$

b) Với đập tràn đỉnh êlip: $h_{ck} = (1,27 \div 1,55)H_o$ khi b/a = 2.

và $h_{ck} = (1,34 \div 1,63)H_o$ khi b/a = 3.

Trị số chân không tương đối (tức là đại lượng h_{ck}/H_o) đối với đập có đầu hình êlip - xem bảng 6.20.

Bảng 6.20. Trị số chân không tương đối h_{ck}/H_o đối với đập có đầu hình êlip (theo số liệu VOĐGEO)

H_o/r	b/a = 1 (tròn)	b/a = 2 (êlip)	b/a = 3 (êlip)	H_o/r	b/a = 1 (tròn)	b/a = 2 (êlip)	b/a = 3 (êlip)
1,0	0,474	-	-	2,0	0,962	0,597	0,631
1,2	0,571	0,000	0,059	2,2	1,057	0,734	0,789
1,4	0,647	0,162	0,211	2,4	1,138	0,887	0,928
1,0	0,675	0,311	0,351	2,6	1,224	1,018	1,060
1,8	0,859	0,454	0,490	2,8	1,309	1,147	1,197
				3,0	1,388	1,274	1,470

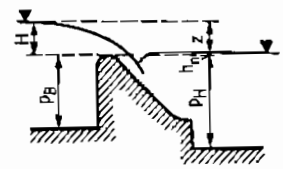
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Điều kiện chảy ngập cho những đập có chân không (hình 6.24):

Điều kiện thứ nhất: $z \le H + 0,15H$.

Điều kiện thứ hai: $(z/p) < (z/p)_{pg}$



Hình 6.24

Trị số của hệ số ngập σ_{ng} của đập tràn có chân không được ghi ở bảng 6.21.

Bảng 6.21. Giá trị của hệ số ngập σ_{ng} của đập tràn có chân không (theo số liệu N. P. Rôdanôp)

h_{ng}/H_o	σ_{ng}	h_{ng}/H_o	σ_{ng}	h_{ng}/H_o	σ_{ng}
- 0,15	1,000	0,20	0,940	0,60	0,723
- 0,10	0,999	0,30	0,895	0,70	0,642
0,00	0,990	0,40	0,845	0,80	0,538
0,10	0,971	0,50	0,788	0,90	0,390
				1,00	0,000

d) Đập tràn mặt cắt đa giác

Đập tràn mặt cắt đa giác thường gặp nhất là hai loại:

1- Mặt cắt hình chữ nhật;

2- Mặt cắt hình thang.

Đối với mặt cắt hình chữ nhật, nếu chảy không ngập và không có co hẹp bên, thì N. N. Pavlôpxki đề nghị nên tính hệ số lưu lượng gần đúng bằng (theo Bazanh).

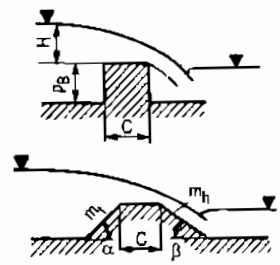
Khi $H > 2c$: $$m = \left(0,405 + \frac{0,003}{H}\right)\left[1 + 0,55\left(\frac{H}{H+p}\right)^2\right]$$

Khi $H < 2c$: $$m \approx 0,42(0,70 + 0,183H/c) \qquad (6\text{-}21)$$

trong đó:

H và p - cột nước và độ cao của thành đập ở thượng lưu;

c - bề dày của đập (hình 6.25).



Hình 6.25

Công thức (6-21) được dùng khi có điều kiện: $H/c = 2,0 \div 0,5$; khi $H/c > 2$ ảnh hưởng của bề dày thân đập đối với lưu lượng rất nhỏ; khi $H/c < 0,5$ nên xem đập tràn như đập tràn đỉnh rộng; khi mép vào của đỉnh được lượn tròn, hệ số lưu lượng tăng khoảng 5%.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 6.22. Giá trị của hệ số lưu lượng của đập tràn mặt cắt hình thang chảy không ngập (theo số liệu N. N. Pavlôpxki)

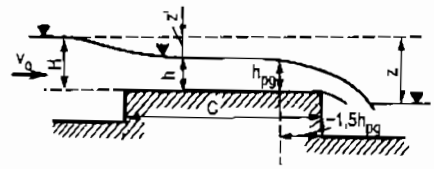
p/H	Trị số mái dốc		Hệ số lưu lượng m		
	m_t	m_h	H/c = 2	H/c = 2 ÷ 1	H/c = 1,0 ÷ 0,5
3 - 5	0,5	0,5	0,43 - 0,42	0,40 - 0,38	0,36 - 0,35
	1,0	0	0,44	0,42	0,40
	2,0	0	0,43	0,41	0,39
2 - 3	0	1	0,42	0,40	0,38
	0	2	0,40	0,38	0,36
	3	0	0,42	0,40	0,38
	4	0	0,41	0,39	0,37
	5	0	0,40	0,38	0,36
1 - 2	10	0	0,38	0,36	0,35
	0	3	0,39	0,37	0,35
	0	5	0,37	0,35	0,34
	0	10	0,35	0,34	0,33

Đối với các đập có mặt cắt hình thang, hệ số lưu lượng phụ thuộc vào tỉ số giữa cột nước H với chiều rộng c của đỉnh và vào độ nghiêng của mặt thượng, hạ lưu của đập, tức là vào các hệ số mái dốc m_t và m_h của đập (hình 6.25), trong đó $m_t = ctg\alpha$ và $m_h = ctg\beta$.

Hệ số lưu lượng của đập có mặt cắt hình thang không chảy ngập có thể lấy theo bảng 6.22.

6.5. ĐẬP TRÀN ĐỈNH RỘNG

Đập tràn đỉnh rộng là đập tràn có đỉnh nằm ngang với c > (2 ÷ 3)H (hình 6.26). Trong thực tế, trị số c của đỉnh nằm ngang thường được lấy trong giới hạn c = (3 ÷ 10)H. Với trị số c quá lớn (c >> H), thì phải xem dòng chảy trên đỉnh đập như chảy trong kênh đáy nằm ngang.



Hình 6.26

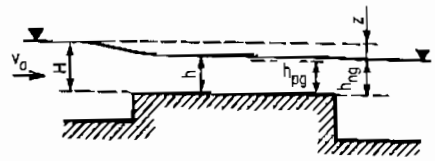
Theo Quy phạm và Tiêu chuẩn kĩ thuật của Bộ Điện Liên Xô năm 1951, khi c ≤ 20H thì đối với các công trình cấp III - V và khi c < 15H đối với công trình cấp I và II, tính toán được tiến hành theo công thức đập tràn đỉnh rộng.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

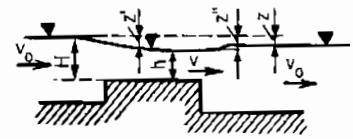
a) Điều kiện chảy ngập

Thường ta xem đập là chảy ngập nếu độ chênh mức nước $z < H - h_{pg}$, nghĩa là nếu độ sâu ngập $h_{ng} > h_{pg}$ (hình 6.27). Trong trường hợp ấy, ta lấy độ sâu h trên đỉnh bằng độ ngập h_{ng}. Khi $h_{ng} < h_{pg}$ đập tràn sẽ không ngập.



Hình 6.27

Chính xác hơn, ta có thể xem ngập bắt đầu khi $z < H_o - (h_{pg} + z'')$, tức là khi $h_{ng} > (h_{pg} + z'')$, trong đó z'' - trị số khôi phục cột nước (hình 6.28) tính theo công thức của P. G. Kixêlép:



Hình 6.28

$$z'' = \frac{v_{pg}v_{ld} - v_{ld}^2}{g} \qquad (6\text{-}22)$$

trong đó: v_{pg} và v_{ld} - vận tốc phân giới (tức là vận tốc ứng với độ sâu phân giới) và vận tốc trong lòng dẫn sau đập tràn (ở hạ lưu).

Theo P. G. Kixêlép, tiêu chuẩn ngập của đập tràn đỉnh rộng là bất đẳng thức:

$$h_{ng} \le 1{,}25h_{pg}$$

Nếu $h_{ng} > 1{,}25h_{pg}$, đập tràn sẽ bị ngập, nếu $h_{ng} < 1{,}25h_{pg}$ - đập tràn không bị ngập.

b) Đập tràn chảy không ngập

Độ sâu trên đỉnh thường được lấy bằng độ sâu phân giới:

$$h = h_{pg} = \frac{2\varphi^2}{1+2\varphi^2}H_o = \sqrt[3]{2m^2}H_o \approx 0{,}6H_o \qquad (6\text{-}23)$$

trong đó: φ = hệ số vận tốc;

m - hệ số lưu lượng.

Nếu xét cả vận tốc đến, thì lưu lượng được xác định theo công thức:

$$Q = mb\sqrt{2g}H_o^{3/2} \qquad (6\text{-}24)$$

hoặc:

$$Q = MbH_o^{3/2} \qquad (6\text{-}25)$$

trong đó: $M = m\sqrt{2g}$.

Các giá trị của hệ số m và M được ghi trong bảng 6.23. Trong tính toán ước lượng có thể lấy $\varphi = 0{,}92$ và $m = 0{,}35$.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 6.23. Giá trị của hệ số φ, m, M và k = H_{pg}/H_o đối với đập tràn đỉnh rộng (theo N. N. Pavlôpxki)

Điều kiện chảy	φ	m	M	k
Không có sức cản thủy lực	1	0,385	1,70	0,667
Khi hình dạng chỗ vào chọn được tốt	0,95	0,365	1,62	0,645
Đỉnh có cạnh vào được làm tròn	0,92	0,350	1,55	0,630
Cạnh vào không sắc	0,88	0,335	1,48	0,610
Cạnh vào không làm tròn (cạnh sắc)	0,85	0,320	1,42	0,590
Điều kiện thủy lực chỗ vào không thuận lợi (cạnh sắc và không phẳng)	0,80	0,300	1,33	0,560

c) Đập tràn chảy ngập

Độ sâu trên đỉnh trong trường hợp này lấy bằng độ sâu chảy ngập, tức là $h = h_{ng}$.

Lưu lượng được xác định theo công thức:

$$Q = \varphi b h_{ng}\sqrt{2g(H_o - h_{ng})} = \varphi b h_{ng}\sqrt{2gz_o} \qquad (6\text{-}26)$$

trong đó: $z_o = H_o - h_{ng}$, hoặc theo công thức:

$$Q = m\sigma_{ng} b\sqrt{2g}H^{3/2} \qquad (6\text{-}27)$$

trong đó: φ - hệ số vận tốc;

σ_{ng} - hệ số ngập phụ thuộc vào tỉ số H_{ng}/H_o.

Bảng 6.24 cho giá trị của hệ số ngập σ_{ng} theo số liệu của N. N. Pavlôpxki.

Bảng 6.24. Trị số của hệ số ngập σ_{ng} đối với đập tràn đỉnh rộng (theo N. N. Pavlôpxki)

h_{ng}/H_o	σ_{ng}	h_{ng}/H_o	σ_{ng}	h_{ng}/H_o	σ_{ng}
Dưới 0,7	1,000	0,90	0,739	0,980	0,360
0,75	0,974	0,92	0,676	0,990	0,257
0,80	0,928	0,94	0,598	0,995	0,183
0,83	0,889	0,95	0,552	0,997	0,142
0,85	0,855	0,96	0,499	0,998	0,116
0,87	0,815	0,97	0,436	0,999	0,082

Nếu vận tốc trên đỉnh đập bằng v, thì độ chênh mức nước z (mức nước dâng trước công trình) sẽ bằng:

$$z = \frac{1}{\varphi^2}\frac{v^2}{2g} - \frac{v_o^2}{2g} \qquad (6\text{-}28)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

hoặc, chính xác hơn (có tính đến cột nước được khôi phục lại):

$$z = \frac{1}{\varphi^2}\cdot\frac{v^2}{2g} - \frac{v_o^2}{2g} - \frac{v.v_{ld} - v_o^2}{g} \qquad (6\text{-}28')$$

trong đó: v_o, v và v_{ld} - lần lượt là vận tốc đến (ở thương lưu), vận tốc trên đỉnh đập và vận tốc trong lòng dẫn (ở hạ lưu).

Khi mặt cắt của dòng chảy trước đập có tiết diện lớn, thì nếu bỏ qua vận tốc đến ($v_o \cong 0$), từ công thức (6-28) ta sẽ có:

$$z = \frac{1}{\varphi^2}\cdot\frac{v^2}{2g} \qquad (6\text{-}28'')$$

Theo nghiên cứu của A. R. Bêrêzinxki (VODGEO 1950), hệ số lưu lượng của đập tràn đỉnh rộng khi $2,5 < c/H \le 10$ và $0 < p/H < 3$ bằng:

+ Với mép vào được làm tròn cạnh:

$$m = 0,36 + 0,01\frac{3 - \frac{p}{H}}{1,2 + 1,5\frac{p}{H}} \qquad (6\text{-}29)$$

+ Với mép vào chữ nhật:

$$m = 0,32 + 0,01\frac{3 - \frac{p}{H}}{0,46 + 0,75\frac{p}{H}} \qquad (6\text{-}29')$$

Khi $p/H > 3$ cần lấy m = 0,36 cho mép vào được làm tròn cạnh m = 0,32 cho mép vào sắc cạnh.

Theo A. R. Bêrêzinxki, đập tràn đỉnh rộng bắt đầu ngập khi $h_{ng}/H_o > 0,8$, còn hệ số ngập được xác định theo bảng 6.25.

Bảng 6.25. Các giá trị của hệ số ngập σ_{ng} của đập tràn đỉnh rộng (theo A. R. Bêrêzinxki)

h_{ng}/H_o	0,80	0,82	0,84	0,86	0,88	0,90	0,92	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98
σ_{ng}	1,00	0,99	0,97	0,95	0,90	0,84	0,72	0,70	0,65	0,59	0,50	0,40

Việc đánh giá co hẹp bên cũng được tiến hành như đối với đập tràn mặt cắt thực dụng.

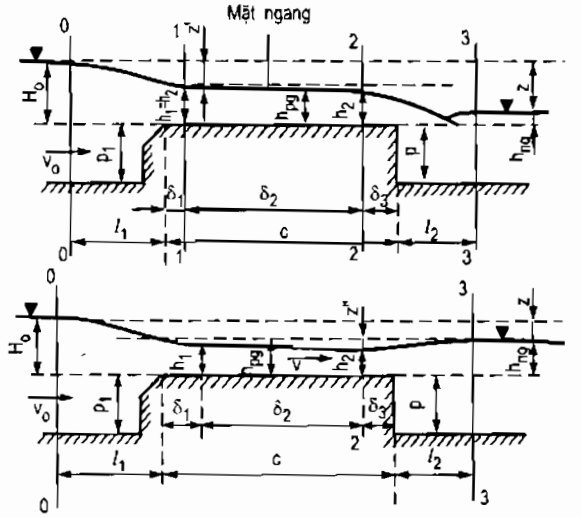
Theo A. R. Bêrêzinxki, hệ số co hẹp bên ε đối với mặt cắt thực dụng dạng cong cũng như đập tràn đỉnh rộng bằng:

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$\varepsilon = 1 - \frac{\alpha}{\sqrt[3]{0,2 + \frac{p}{H}}} \sqrt[4]{\frac{b}{B}\left(1 - \frac{b}{B}\right)} \qquad (6\text{-}30)$$

Công thức (6-30) đúng với b/B > 0,2 và p/H < 3. Nếu b/B < 0,2, cần lấy b/B = 0,2; còn nếu p/H > 3 - lấy p/H = 3. Hệ số α được chỉ định là 0,1 khi các trụ giữa và trụ biên có dạng thuận và là 0,19 khi có dạng chữ nhật.

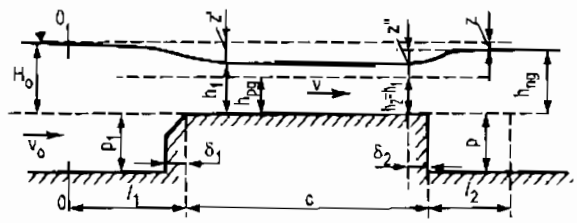


Hình 6.29: *Sơ đồ tính toán đập tràn đỉnh rộng không ngập*

Theo Tiêu chuẩn và Quy phạm kĩ thuật của Bộ Điện Liên Xô năm 1951, khi tính toán đập tràn đỉnh rộng cần xuất phát từ các sơ đồ tính ở hình 6.29 và 6.30, trong đó đập tràn được coi là ngập (hình 6.30) nếu:

$$h_h \geq nH_o \qquad (6\text{-}31)$$

trong đó: n - hệ số $0,75 \leq n \leq 0,83 \div 0,97$.



Hình 6.30: *Sơ đồ tính toán đập ngập*

Hệ số n được cho dưới dạng đồ thị lập theo công thức R. R. Trugaep (hình 6.31). Theo công thức đó thì:

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$n = f(v, m)$$

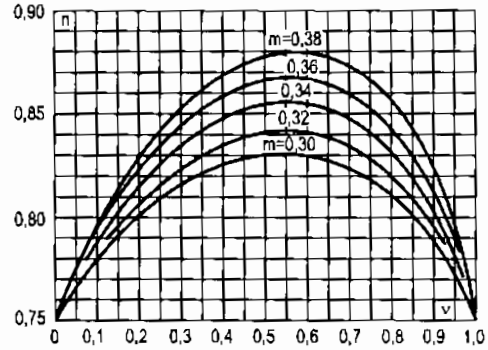
trong đó: m - hệ số lưu lượng;

$$v = \frac{bh_{ng}}{\Omega_{hl}}$$

trong đó:

b - chiều rộng đập tràn (chiều dài của ngưỡng);

h_{ng} và Ω_{hl} - lần lượt là độ sâu ngập và diện tích mặt cắt ướt ở hạ lưu.



***Hình 6.31**: Đồ thị để xác định hệ số n trong công thức 6-31)*

Hệ số lưu lượng. Nếu đập tràn không ngập, thì theo Tiêu chuẩn và Quy phạm kĩ thuật của Bộ Điện Liên Xô năm 1951, lưu lượng được xác định theo công thức tổng quát (6-24); khi đó hệ số lưu lượng được xác định như sau:

1. Khi lập nhiệm vụ thiết kế hoặc trong lần gần đúng thứ nhất khi lập thiết kế kĩ thuật cần lấy m = 0,35 cho trường hợp mép vào của đập tràn được làm tròn cạnh hoặc không nhọn và cả khi mặt thượng lưu của trụ và tường tràn có mặt nghiêng về phía thượng lưu. Trong mọi trường hợp khác đều lấy m = 0,32.

2. Trong tính toán chính xác hóa của thiết kế kĩ thuật, hệ số lưu lượng m được xác định theo phương pháp Đ. I. Kumin (VOĐGEO), cụ thể là:

a) Nếu đập tràn không có co hẹp bên b = B hoặc không có ngưỡng (chiều cao của tường tràn $p_t = 0$), thì hệ số lưu lượng được lấy tương ứng theo bảng 6.26 và 6.27.

b) Nếu đập tràn có co hẹp bên b < B và chiều cao ngưỡng $p_t > 0$ thì hệ số lưu lượng được xác định theo một trong những công thức sau đây:

$$m' = m_\eta + (m_\beta - m_\eta)F_\eta + (0,385 - m_\beta)F_\eta F_\beta \qquad (6\text{-}32)$$

hoặc:

$$m = m_\beta + (m_\eta - m_\beta)F_\beta + (0,385 - m_\eta)F_\eta F_\beta \qquad (6\text{-}32')$$

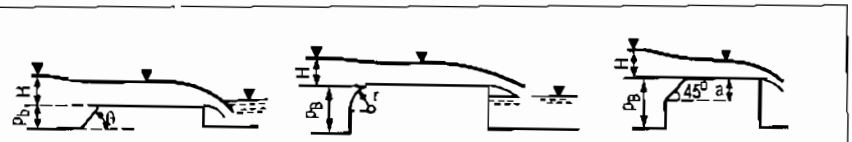
trong đó: các giá trị của hệ số m_η được lấy từ hàng cuối của bảng 6.26 (khi $\eta = \infty$) ứng với mặt cắt tường tràn, còn giá trị hệ số m_β lấy từ hàng đầu của bảng 6.27 ứng với các điều kiện co hẹp bên.

Tính toán sẽ được tiến hành theo (6-32), nếu thấy $m_\beta > m_\eta$ và theo công thức (6-32') nếu $m_\beta < m_\eta$.

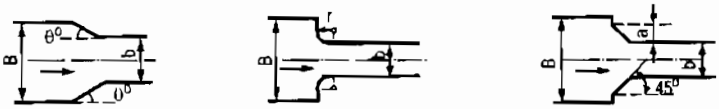
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 6.26. Các giá trị của hệ số m của đập đỉnh rộng khi có co hẹp bên (theo số liệu của D. I. Kumin)

$\eta = \frac{p_t}{H}$												
	Khi cotgθ bằng				Khi r/H bằng				Khi a/H bằng			
	0	1	2	2,5	0,025	0,10	0,40	0,80	1	0,025	0,1	2
0.2	0,366	0,377	0,382	0,382	0,372	0,375	-	-	-	0,371	0,376	-
0.6	0,350	0,370	0,379	0,380	0,361	0,367	0,374	-	-	0,359	0,367	-
1,0	0,342	0,367	0,377	0,378	0,355	0,362	0,371	0,367	-	0,353	0,363	-
2,0	0,333	0,363	0,375	0,377	0,349	0,358	0,368	0,375	0,382	0,347	0,358	-
6,0	0,325	0,360	0,374	0,376	0,344	0,354	0,366	0,373	0,380	0,341	0,354	0,360
∞	0,320	0,358	0,373	0,375	0,340	0,351	0,364	0,372	0,375	0,337	0,352	0,358

Bảng 6.27. Các giá trị của hệ số lưu lượng m của đập tràn không có ngưỡng (tức là $p_t = 0$) với các điều kiện co hẹp bên khác nhau (theo số liệu của Đ. I. Kumin)

$\beta = \frac{b}{B}$												
	cotgθ				r/B				a/b			
	0	1	2	3	0	0,1	0,3	0,5	0	0,050	0,1	0,2
0,0	0,32	0,35	0,353	0,350	0,320	0,342	0,354	0,360	0,320	0,340	0,345	0,350
0,2	0,324	0,352	0,355	0,352	0,324	0,345	0,356	0,362	0,324	0,343	0,348	0,352
0,4	0,330	0,356	0,358	0,356	0,330	0,349	0,359	0,364	0,330	0,347	0,351	0,356
0,6	0,340	0,361	0,363	0,361	0,340	0,354	0,363	0,368	0,340	0,354	0,357	0,361
0,8	0,355	0,369	0,370	0,369	0,355	0,365	0,371	0,373	0,355	0,364	0,366	0,369
1.0	0,385	0,385	0,385	0,385	0,385	0,385	0,385	0,385	0,385	0,385	0,385	0,385

Các giá trị của F_η và F_β được tính toán lần lượt theo các công thức:

$$F_\eta = \frac{H}{H + 2p_t} \qquad (6\text{-}33)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$F_\beta = \frac{b}{3,5B - 2,5b} \qquad (6\text{-}34)$$

Thí dụ: Giả sử H = 1m, p_t = 2m; b = 10m; B = 20m và ngoài ra m_η = 0,32; m_β = 0,35.

Vì $m_\beta > m_\eta$ nên theo công thức (6-32) ta có:

$$m = 0,32 + 0,03F_\eta + 0,035F_\eta.F_\beta$$

Tiếp đó tìm được:

$$F_\eta = \frac{1}{1+2,2} = 0,212 \text{ và } F_\beta = \frac{10}{3,5.20 - 2,5.10} = 0,2$$

và do đó: $m = 0,32 + 0,006 + 0,0014 \approx 0,3274 \approx 0,327.$

Khi đập không ngập, chiều sâu nước trên đỉnh h_1 (bằng h_2) được xác định theo Quy phạm và Tiêu chuẩn kĩ thuật của Bộ Điện Liên Xô năm 1951 theo công thức:

$$Q = \varphi h_1 b \sqrt{2g(H_o - h_1)} \qquad (6\text{-}35)$$

tức là khi biết Q, b và H_o sẽ tìm được h_1 bằng cách giải phương trình bậc 3:

$$h_1^3 - H_o h_1^2 + \left(\frac{m}{\varphi}\right)^2 H_o^3 = 0 \qquad (6\text{-}36)$$

Khi đó hệ số φ tùy theo hệ số lưu lượng m sẽ được lấy theo bảng 6.28 (theo Đ. I. Kumin).

Bảng 6.28. Bảng phụ thuộc của φ vào m

m	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38
φ	0,943	0,950	0,956	0,963	0,970	0,976	0,983	0,990	0,996

Để xác định nhanh h_1 có thể sử dụng công thức:

$$h_1 = kH_o \qquad (6\text{-}37)$$

trong đó giá trị của hệ số k được tìm bằng đồ thị trên hình 6.32, phụ thuộc vào giá trị của hệ số lưu lượng m.

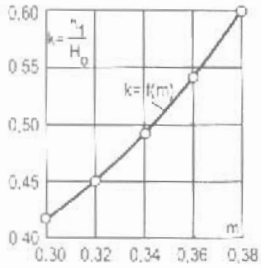
Khi đập tràn bị ngập, theo Quy phạm và Tiêu chuẩn kĩ thuật lưu lượng được xác định theo công thức (6-35), trong đó hệ số vận tốc được xác định phụ thuộc vào hệ số m theo bảng 6.29.

Bảng 6.29. Giá trị của hệ số φ của đập tràn đỉnh rộng ngập (theo số liệu của Đ. I. Kumin)

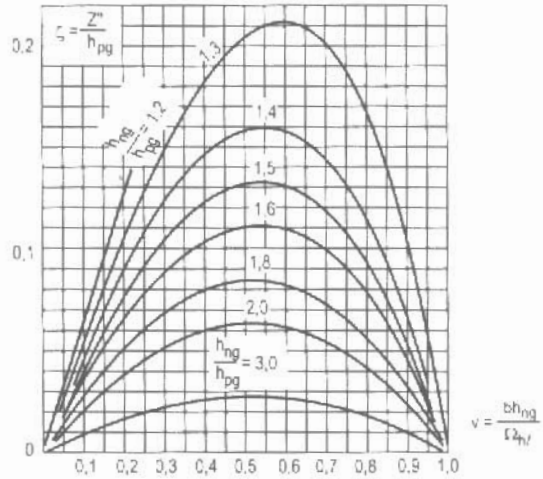
m	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38
φ	0,76 ÷ 0,78	0,81	0,84	0,87	0,90	0,93	0,96	0,98	0,99

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 6.32



***Hình 6.33:** Đồ thị để xác định ζ cho đập tràn đỉnh rộng (theo số liệu của M. D. Tsectôuxốp và R. R. Tsugaep)*

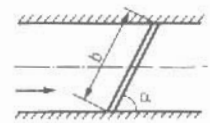
Chiều sâu h_1 (hoặc h_2) trên ngưỡng được xác định từ hiệu số (hình 6-30) $h_1 = h_2 = h_{ng} - z''$ trong đó độ sâu ngập h_{ng} là đã cho, còn đại lượng z'' tìm được theo công thức $z'' = \zeta h_{pg}$, trong đó hệ số ζ được xác định theo đồ thị trên hình 6.33.

6.6. ĐẬP TRÀN XIÊN VÀ ĐẬP TRÀN CONG TRÊN BÌNH DIỆN

a) Đập tràn xiên (hình 6.34)

Lưu lượng được xác định theo công thức:

$$Q = kmb\sqrt{2g}H^{3/2} \qquad (6\text{-}38)$$



Hình 6.34

trong đó: m - hệ số lưu lượng của đập thẳng;

k - hệ số hiệu chỉnh < 1;

b - chiều dài ngưỡng đập trên bình diện.

Đối với các phép tính gần đúng có thể lấy giá trị hệ số k theo bảng 6.30.

Bảng 6.30. Các giá trị của k trong công thức (6-38) (theo số liệu của V. X. Ixtômina)

α (độ)	15	30	45	60	90
k	0,86	0,91	0,94	0,96	1

Khi dòng đến đập tràn là chảy xiên, thì hệ số lưu lượng bị giảm xuống. Theo các kết quả nghiên cứu của A. X. Anxuphêrôp, hệ số lưu lượng của đập tràn trong trường hợp đó có thể xác định theo công thức:

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$m = \frac{m_o}{(1+\alpha^2\beta^2 m_o^2)^{3/2}}$$

trong đó hệ số: $$m_o = 0,5\sqrt{\frac{\psi(1-\psi^2)}{1-\alpha\beta\psi\cos\theta}}$$

ở đây:

$$\alpha = \frac{H}{H+p};$$

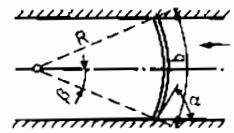
β = b/B, trong đó: b, B là chiều rộng ở sau và trước công trình;

$\psi = h_c/H_c$ mà h_c và H_c là chiều sâu tại mặt cắt co hẹp và cột nước trên đập tràn;

θ - góc giữa các trục của dòng chảy đến và dòng chảy sau đập tràn.

b) Đập cong (hình 6.35)

Cần xác định hệ số lưu lượng bằng nghiên cứu thí nghiệm.



Hình 6.35

Lưu lượng được xác định gần đúng theo công thức:

$$Q = k'mb\sqrt{2g}H^{3/2} \qquad (6\text{-}39)$$

trong đó:

m - hệ số lưu lượng của đập thẳng;

k' - hệ số hiệu chỉnh;

b- chiều dài ngưỡng trong bình diện của đập (theo cung).

Đối với các phép tính rất gần đúng có thể lấy:

$$k' = 1 - n\frac{H}{p} \qquad (6\text{-}39')$$

trong đó:

H và p - tương ứng là cột nước ở đập tràn và chiều cao của thành đập tràn;

n - hệ số cho trong bảng 6.31.

Bảng 6.31. Các giá trị của hệ số n trong công thức (6-39') tùy thuộc vào góc α (hình 6.35)

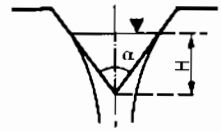
Dạng lòng dẫn	α (độ)					
	15	30	45	60	75	90
Lòng dẫn rộng	0,71	0,35	0,20	0,11	0,04	0
Lòng dẫn hẹp	0,83	0,48	0,28	0,13	0,04	0

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

6.7. ĐẬP TRÀN TAM GIÁC VÀ HÌNH THANG

a) Đập tràn tam giác thành mỏng (hình 6.36)



Hình 6.36

Lưu lượng của đập tràn hình tam giác được xác định theo công thức:

$$Q = MH^n \qquad (6\text{-}40)$$

Nếu góc $\alpha = 90^o$, thì có thể xác định lưu lượng theo công thức Tômxơn:

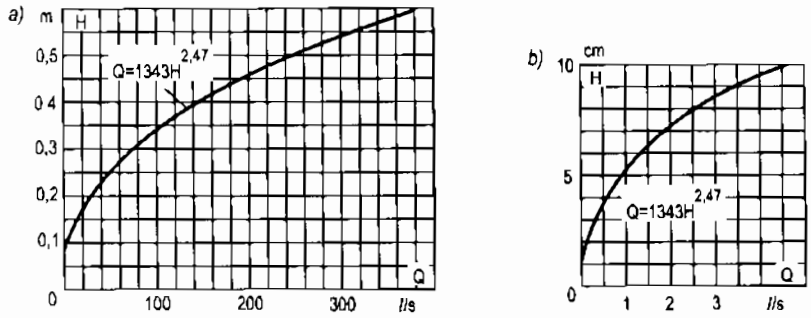
$$Q = 1,4H^2\sqrt{H} \ (m^3/s) \qquad (6\text{-}41)$$

hoặc chính xác hơn một ít:

$$Q = 1,343H^{2,47} \ (m^3/s) \qquad (6\text{-}42)$$

trong đó: H - cột nước (m).

Các giá trị lưu lượng qua đập tính theo công thức (6-41) được ghi trong bảng 6.32, còn theo công thức (6-42) - trong bảng 6.33, cũng có thể xem cả ở hình 6.37.



Hình 6.37: Đồ thị để xác định trị số lưu lượng qua đập tam giác với $\alpha = 90^o$
a) cột nước vừa; b) cột nước nhỏ

Bảng 6.32. Các giá trị của lưu lượng đập tràn tam giác (góc $\alpha = 90^o$) theo công thức $Q = 1400H^{2,5}$

H (m)	Q (*l*/s)	H (m)	Q (*l*/s)	H (m)	Q (*l*/s)
0,02	0,140	0,16	14,35	0,30	69,1
0,04	0,42	0,18	19,20	0,40	141,6
0,06	1,24	0,20	25,10	0,50	247,5
0,08	2,53	0,22	31,8	0,60	390,8
0,10	4,43	0,24	39,5	0,70	575,0
0,12	7,00	0,26	48,3	0,80	802,0
0,14	10,22	0,28	58,2	0,90	1117,0
				1,00	1400,0

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 6.33. Các giá trị của lưu lượng đập tràn tam giác (với $\alpha = 90^0$) theo công thức $Q = 1443H^{2,47}$

H (m)	Q (l/s)	H (m)	Q (l/s)	H (m)	Q (l/s)
0,03	0,23	0,12	7,14	0,35	100,4
0.04	0,47	0,14	10,45	0,40	139,9
0,05	0,81	0,16	14,54	0,45	186,9
0,06	1,29	0,18	19,43	0,50	242,7
0,07	1,88	0,20	25,29	0,55	306,0
0,08	2,62	0,25	43,82	0,60	380,1
0,09	3,50	0,30	68,67	0, 65	463,2
0,10	4,55				

Bảng 6.34. Các giá trị của $N = H^{2,5}$

H	N	H	N	H	N	H	N	H	N
0.00	0,0000	0,20	0,0179	0,40	0,1012	0,60	0,2789	0,80	0,5724
0,02	0,0001	0,22	0,0227	0,42	0,1143	0,62	0,3027	0,82	0,6089
0,04	0,0003	0,24	0,0282	0,44	0,1284	0,64	0,3277	0,84	0,6467
0,06	0,0009	0,26	0,0345	0,46	0,1435	0,66	0,3539	0,86	0,6854
0,08	0,0018	0,28	0,0415	0,48	0,1596	0,68	0,3813	0,88	0,7265
0.10	0,0032	0,30	0,0493	0,50	0,1768	0,70	0,4150	0,90	0,7684
0,12	0,0050	0,32	0,0579	0,52	0,1950	0,72	0,4399	0,92	0,8118
0.14	0,0073	0,34	0,0674	0,54	0,2143	0,74	0,4711	0,94	0,8567
0,16	0,0102	0,36	0,0778	0,56	0,2347	0,76	0,5035	0,96	0,9080
0,18	0,0137	0,38	0,0890	0,58	0,2562	0,78	0,5357	0,98	0,9507
								1,00	1,0000

Để giảm nhẹ khối lượng tính toán theo công thức $Q = 1,4H^{2,5}$ có thể dùng bảng phụ 6.34 về các giá trị $N = H^{2,5}$.

Công thức $Q = 1,343H^{2,47}$ (m^3/s) cho ta các kết quả chính xác, nếu $H + p_t > 3H$; $B > 5H$ và $H = 0,06 \div 0,65m$, trong đó B chiều rộng của lòng dẫn chữ nhật; $H + p_t$ - chiều sâu toàn phần của lòng dẫn ở trước đập tràn.

b) Đập tràn hình thang

Có thể coi công thức sau đây là công thức cơ bản của lưu lượng đạp tràn hình thang:

$$Q = m(b + 0,8tg\alpha.H)H\sqrt{2gH} \qquad (6\text{-}43)$$

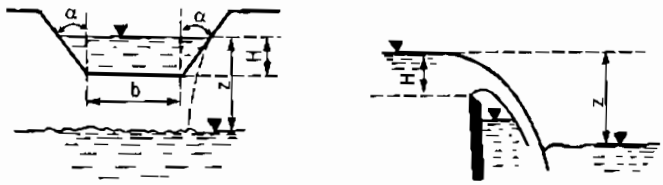
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Đối với đập tràn thành mỏng hình thang (hình 6.38) với góc $\alpha = 14^o$ (hoặc là nói chính xác hơn với hệ số dốc của các mép bên bằng m = 0,25) và trong trường hợp $b \leq 4H$, có thể xác định lưu lượng theo công thức:

$$Q = mbH\sqrt{2gH} \quad . \qquad (6\text{-}44)$$

trong đó: hệ số lưu lượng m = 0,42 lấy là hằng số không phụ thuộc vào cột nước H. Đập tràn đó được sử dụng làm đập đo lưu lượng.



Hình 6.38

Các giá trị của lưu lượng tính theo công thức (6-44) đối với các giá trị H khác nhau được ghi ở bảng 6.35.

Để có được lưu lượng với chiều rộng b ≠ 1m, cần nhân các giá trị trong bảng với b.

Bảng 6.35. Giá trị lưu lượng $Q = mbH\sqrt{2gH}$ (m^3/s) của đập hình thang khi $\alpha = 14^o$ (hình 6.38) và chiều rộng b = 1m

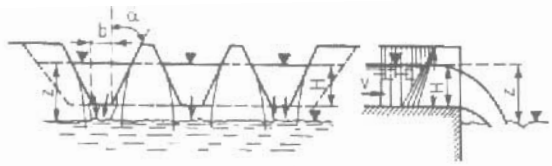
H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
0,05	0,021	0,14	0,097	0,26	0,247	0,44	0,542
0,06	0,027	0,15	0,108	0,28	0,276	0,46	0,580
0,07	0,034	0,16	0,119	0,30	0,306	0,48	0,617
0,08	0,042	0,17	0,134	0,32	0,337	0,50	0,659
0,09	0,050	0,18	0,142	0,34	0,369	0,60	0,865
0,10	0,059	0,19	0,154	0,36	0,402	0,70	0,880
0,11	0,068	0,20	0,162	0,38	0,436	0,80	1,331
0,12	0,077	0,22	0,192	0,40	0,475	0,90	1,588
0,13	0,087	0,24	0,219	0,42	0,508	1,00	1,860

c) Đập tràn khe hở

Đập tràn khe hở gồm có một hoặc vài lỗ tràn kiểu hình thang. Loại đập này thường được thiết lập ở đoạn nước đổ của kênh nhờ có một loại trụ giữa làm hẹp mặt cắt ướt của kênh (hình 6.39).

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 6.39

Lưu lượng của đập khe hở với N lỗ được xác định theo công thức:

$$Q = m(b + 0,8Htg\alpha)n\sqrt{2gH} \qquad (6\text{-}45)$$

trong đó:

b - chiều rộng đáy của từng khe;

α - góc nghiêng của các mép bên so với đường thẳng đứng;

n - số khe;

m - hệ số lưu lượng của đập tràn.

Theo E. A. Damarin, với hình dạng các trụ thuận (trong thực tế thường dùng) hệ số lưu lượng có thể lấy là:

H (m)	1	1 ÷ 1,5	1,5 ÷ 2	2 ÷ 2,5
m	0,475	0,485	0,495	0,510

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Chương 7

CÁC ỐNG DẪN NƯỚC CÓ ÁP

7.1. CÁC CÔNG THỨC VÀ CÁC HỆ THỨC CƠ BẢN

Tổn thất cột nước dọc đường h_d của đường ống trong thiết kế các đường ống có chiều dài lớn, khi có thể bỏ qua các tổn thất cục bộ, được xác định theo công thức Đacxi - Vâyxbăc:

$$h_d = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} \tag{7-1}$$

Công thức này có thể biến đổi thành một trong các biểu thức sau đây:

$$h_d = \frac{Q^2}{K^2} l = Jl \tag{7-2}$$

$$h_d = AlQ^2 \tag{7-3}$$

$$h_d = SQ^2 \tag{7-4}$$

trong đó: K - đặc trưng lưu lượng

$$K = \omega C\sqrt{R} = \sqrt{\frac{g\pi^2 d^5}{8\lambda}} \tag{7-5}$$

$\lambda = 8g/C^2$ - hệ số ma sát thủy lực trong ống;

A - sức cản đơn vị của đường ống.

$$A = \frac{8\lambda}{g\pi^2 d^5} = \frac{1}{K^2} \tag{7-5'}$$

S - sức cản (toàn phần) của đường ống

$$S = AL = \frac{8\lambda l}{g\pi^2 d^5} = \frac{l}{K^2} \tag{7-6}$$

trong các công thức trên: Q - lưu lượng; v - vận tốc trung bình; R - bán kính thủy lực; d - đường kính ống; l - chiều dài đoạn tính toán của ống; J - độ dốc thủy lực; C - hệ số Sêzi:

$$C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}} \tag{7-7}$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Giá trị của hệ số ma sát thủy lực λ để tính K, A và S, có thể tìm được theo một trong các công thức đã biết ở chương IV. Khi đó cần lưu ý rằng các công thức của N. N. Pavlôpxki và Maninh chỉ áp dụng được cho khu vực bình phương sức cản khi mà λ ≠ f (Re). Để có được điều đó, cần thỏa mãn điều kiện (4-19).

$$Re\cdot\frac{k_e}{d}=\frac{vk_e}{\nu}\geq 500 \qquad (7\text{-}8)$$

Điều kiện này, trong một số trường hợp, tương ứng với chế độ làm việc của các đường ống năng lượng của nhà máy thủy điện mà vận tốc tính toán của chúng (theo điều kiện kinh tế) được lấy khoảng v ≥ 2 m/s.

Khi đó, hệ số λ (hoặc hệ số C) có thể xác định theo công thức N. N. Pavlôpxki hoặc là (trong tính toán sơ bộ gần đúng) theo công thức Maninh.

Để tính toán các đường ống có áp trong tất cả các trường hợp khác (khi $Re > Re_{pg}$), cần sử dụng các công thức Cônbruc và Altsul.

Khi tính toán các đường ống có áp bằng gỗ cho nhà máy thủy điện, có thể tìm giá trị h_d bằng công thức Xcôbây:

$$h_d=0{,}196\frac{v^{1,8}}{d^{1,17}}l \qquad (7\text{-}9)$$

trong đó: v - tính bằng m/s, còn d - bằng cm.

Trị số vận tốc khi đó có thể tìm được theo đồ thị ở hình 7.1 được vẽ cho biểu thức:

$$v=49{,}7.d^{0,65}J^{0,555}$$

trong đó: d - tính bằng m; J - tính theo phần nghìn.

Từ công thức tổn thất cột nước dọc đường (7-2), có thể xác định được độ dốc thủy lực:

$$J=\frac{h_d}{l}=M\frac{Q^2}{d^5} \qquad (7\text{-}10)$$

trong đó: $M=\frac{16\lambda}{2g\pi^2}$.

Trong các tính toán ước lượng, lấy λ = 0,03, sẽ được:

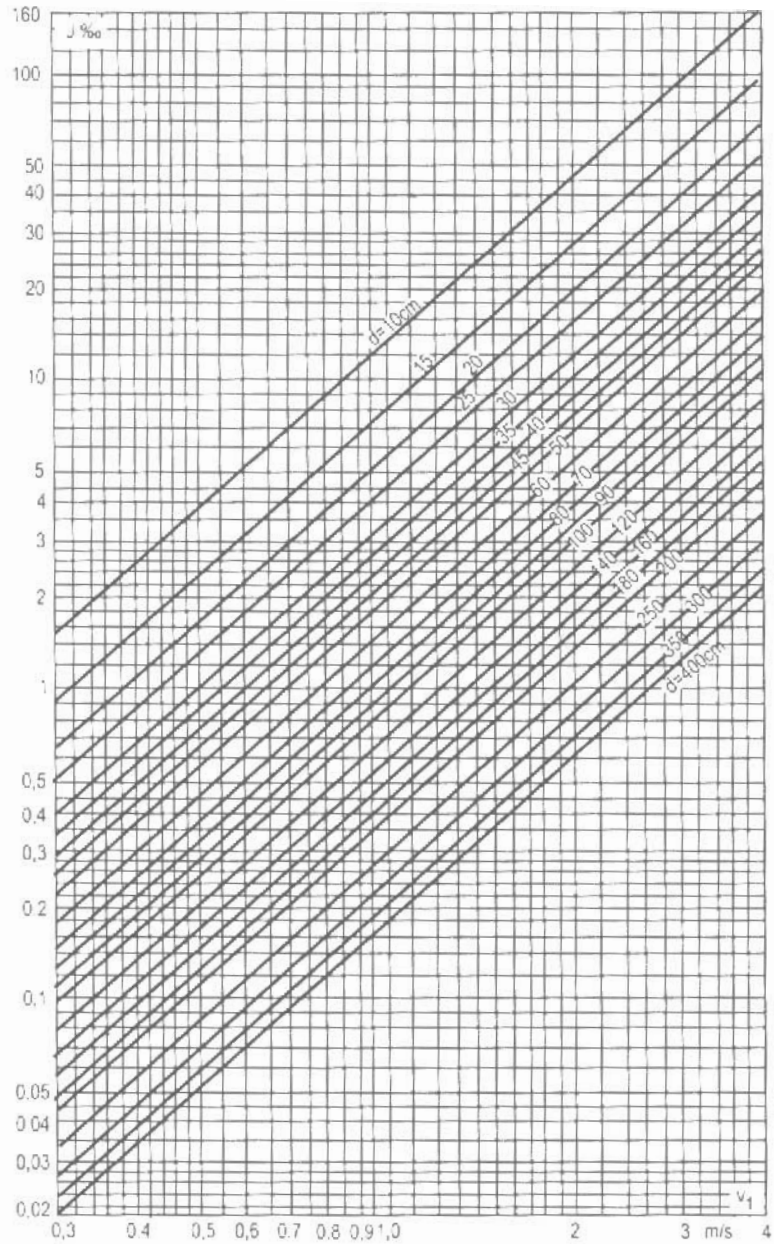
$$M=0{,}0025 \text{ và } J\approx 0{,}0025Q^2/d^5 \qquad (7\text{-}11)$$

Như vậy có thể coi một cách gần đúng là độ dốc thủy lực và từ đó cả cột nước tổn thất đều tỉ lệ nghịch với bậc 5 của đường kính ống dẫn.

$$\frac{J_1}{J_2}\approx\left(\frac{d_2}{d_1}\right)^5 \qquad (7\text{-}12)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 7.1: Đồ thị để tính toán thủy lực các ống gỗ

7.2. CHỌN HỆ SỐ NHÁM KHI THIẾT KẾ CÁC ĐƯỜNG ỐNG CÓ ÁP

Trị số độ nhám tuyệt đối hạt đều tương đương k_{td} (hoặc hệ số nhám n) được chọn cho phù hợp với vật liệu làm thành ống tùy theo tính chất gia công của bề mặt bên trong, phương pháp tiến hành công việc và điều kiện vận hành.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Nếu như công tác xây dựng có chất lượng tốt, thì trong tính toán sơ bộ đối với các ống có đường kính lớn, giá trị hệ số nhám có thể lấy gần đúng như sau:

Đối với ống bêtông và bêtông cốt thép $n = 0,0125$;

Đối với các ống kim loại nối đinh tán $n = 0,013$;

Đối với các ống kim loại hàn $n = 0,012$;

Đối với ống gỗ đường kính lớn $n = 0,011$.

Đối với các tính toán chính xác hơn nên sử dụng số liệu trong bảng 4.1 và bảng 7.1.

Bảng 7.1. Các giá trị của hệ số nhám n với độ nhám tuyệt đối hạt đều tương đương k_{td} của các đường ống

Tính chất mặt ngoài của đường dẫn nước	Trị số n			Trị số k_{td} (mm)		
	Trung bình	Lớn nhất	Bé nhất	Trung bình	Lớn nhất	Bé nhất
1	2	3	4	5	6	7
Đá không trát mặt:						
a) Trong điều kiện trung bình, các thành được làm phẳng bằng cách đẽo bỏ những chỗ nhô ra	0,03	0,033	0,025	180	320	60
b) Trong điều kiện không thuận lợi - bề mặt rất lồi lõm, làm khác một ít so với thiết kế	0,04	0,045	-	1000	-	-
Đá chỉ trát một phần: phun ximăng, trát hồ, trát một phần chu vi của đường ống	0,03	-	0,022	180	-	30
Các tuynen và ống dẫn nước bằng bêtông và bêtông cốt thép (không trát vữa)						
a) Bằng phương pháp thi công thông thường và ván khuôn gỗ	0,013	0,014	-	1,2	1,8	-
b) Bằng phương pháp thi công chất lượng không cao: các vết của khe nối do có hiện tượng lún của các tấm ván khuôn v.v...	0,016	0,017	-	4,0	6,0	-
c) Với hình dạng rất nhẵn (hoặc với khuôn không kim loại)	0,012	-	-	0,7	-	-
Tuynen, đường ống bêtông và bêtông cốt thép với mặt trát vữa được làm phẳng, mài nhẵn phụ thuộc vào chất lượng công việc	0,012	0,014	0,010	0,7	1,8	0,25

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

1	2	3	4	5	6	7
Các tuynen và ống dẫn nước bằng bêtông và bêtông cốt thép có lớp phun ximăng:						
a) Mặt đường dẫn nước được quét cẩn thận bằng chổi thép và được là nhẵn	0,013	0,015	0,012	1,2	22,5	0,7
b) Mặt đường dẫn nước được quét bằng chổi thép và không để lại những mảnh vụn giữa lớp phun và lớp trát bên ngoài	0,018	-	0,016	8	-	4
c) Lớp phun ximăng được thi công cẩn thận nhưng không quét và là nhẵn	0,019	0,023	-	11,0	36,0	-
Ống dẫn nước bằng kim loại:						
a) Với mối hàn ngang và dọc không làm giảm diện tích mặt cắt ướt	0,012	0,0125	0,011	0,7	1,0	0,3
b) Với mối hàn dọc và khớp nối ngang bằng một hàng đinh tán	0,013	0,014	0,0115	1,2	1,8	-
c) Với mối hàn dọc và khớp nối ngang bằng đinh tán (hai hàng đinh tán hoặc nhiều hơn)	0,014	0,015	0,013	1,8	2,8	1,2
d) Ống với khe nối ngang và dọc bằng đinh tán khi số đinh tán ít và bề dày của thành ống mỏng đến 11mm	0,0135	0,015	0,0125	1,4	2,8	0,9
e) Ống với khe nối ngang và dọc bằng đinh tán có lớp đệm khi số đinh tán lớn (hai hàng và nhiều hơn) hoặc khi bề dày của thành ống lớn hơn 12mm	0,015	0,017	0,014	2,8	5,8	1,8
Ống dẫn nước bằng gỗ, ghép bằng đinh tán	0,011	0,012	0,010	0,3	0,7	0,2

7.3. TÍNH ĐƯỜNG ỐNG DẪN

a) Trong khu bình phương sức cản

Khi tính đường ống dẫn, nếu ở khu bình phương sức cản, tức là $\lambda \neq f(Re)$, thì các thông số thủy lực tổng hợp như K, A và S trong các công thức (7-2) ÷ (7-7) sẽ chỉ phụ thuộc vào đường kính ống và độ nhám của bề mặt thành ống và được kí hiệu là K_{bph}, A_{bph}, S_{bph}. Trong bảng 7.2 đã cho các giá trị của K_{bph} đối với các ống tiết diện tròn tính theo công thức Pavlôpxki, còn trong bảng 7.3 - ghi các giá trị của K_{bph} theo công thức Maninh trong bảng 7.5 - giá trị của K_{bph} tính theo công thức

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Sifrinxơn (4-21) (khi k_{td} = 0,2mm), còn trong bảng 7.6 - các giá trị của A_{bph} theo công thức Sifrinxơn (với k_{td} = 0,1mm).

Ghi chú: Các giá trị của đặc trưng lưu lượng K_{bph} đối với các hệ số nhám n khác (không cho trong bảng) có thể tìm được với độ chính xác cần thiết bằng cách lấy trong bảng một trị số K ứng với độ nhám gần nhất rồi nhân với tỉ số giữa hệ số nhám trong bảng với hệ số nhám đã cho.

Bảng 7.2. Giá trị của đặc trưng lưu lượng K_{bph} của ống tiết diện tròn được tính theo công thức Pavlôpxki

Đường kính d (m)	Diện tích tiết diện ngang ω (m^2)	K_{bph} (m^3/s) với các trị số hệ số nhám n khác nhau			
		0,011	0,020	0,030	0,040
1,00	0,7854	29,806	14,707	8,934	6,185
1,50	1,7672	86,664	44,307	27,638	19,716
2,00	3,1416	184,573	96,618	61,747	44,644
2,50	4,9087	328,123	174,196	112,663	82,338
3,00	7,069	535,31	288,90	188,636	140,02
3,50	9,621	801,70	436,92	288,762	215,18
4,00	12,566	1140,00	628,32	418,67	314,16
5,00	19,653	2049,87	1142,71	707,21	582,86
6,00	28,274	3311,98	1865,37	1270,11	969,02
7,00	38,484	4961,79	2813,88	1926,76	1479,33
8,00	50,266	7052,81	4025,73	2766,80	2133,78
9,00	63,617	9609,39	5501,31	3795,18	2935,30
10,00	78,540	12702,26	7302,86	5051,05	3918,91
12,00	113,097	20427,94	11798,90	8198,57	6359,27
14,00	153,938	30628,30	17703,39	12320,40	9585,74
16,00	201,062	43469,17	25132,50	17532,43	13632,00

(Từ đây về sau dấu hiệu K cần hiểu là K_{bph}).

Bảng 7.3. Các giá trị của đặc trưng lưu lượng của ống dẫn nước được tính theo công thức Maninh

d (mm)	ω (m^2)	K_{bph} (l/s)		
		Ống sạch (n = 0,011)	Các điều kiện tính toán bình thường (n = 0,0125)	Ống bẩn (n = 0,0143)
1	*2*	*3*	*4*	*5*
50	0,00196	9,624	8,460	7,403
75	0,00442	28,37	24,94	21,83
100	0,00785	61,11	53,72	47,01
125	0,01227	110,80	97,40	85,23
150	0,01767	180,20	158,40	138,60

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

1	2	3	4	5
175	0,02405	271,80	238,90	209,00
200	0,03142	388,00	341,00	298,50
225	0,03976	531,20	467,00	408,60
250	0,04909	703,50	418,50	541,20
300	0,07068	$1,144.10^3$	$1,006.10^3$	880,00
350	0,09621	$1,726.10^3$	$1,517.10^3$	$1,327.10^3$
400	0,12566	$2,464.10^3$	$2,166.10^3$	$1,895.10^3$
450	0,15904	$3,373.10^3$	$2,965.10^3$	$2,594.10^3$
500	0,19635	$4,467.10^3$	$2,927.10^3$	$3,436.10^3$
600	0,28274	$7,274.10^3$	$6,386.10^3$	$5,587.10^3$
700	0,38485	$10,96.10^3$	$9,632.10^3$	$8,428.10^3$
750	0,44179	$13,17.10^3$	$11,58.10^3$	$10,13.10^3$
800	0,50266	$15,64.10^3$	$13,75.10^3$	$12,03.10^3$
900	0,63617	$21,42.10^3$	$13,83.10^3$	$16,47.10^3$
1000	0,78540	$28,36.10^3$	$24,93.10^3$	$21,82.10^3$
1200	1,1309	$46,12.10^3$	$40,55.10^3$	$35,48.10^3$
1400	1,5394	$69,57.10^3$	$61,16.10^3$	$58,52.10^3$
1600	2,0106	$99,33.10^3$	$87,32.10^3$	$76,41.10^3$
1800	2,5447	$136,00.10^3$	$119,50.10^3$	$104,60.10^3$
2000	3,1416	$180,10.10^3$	$158,30.10^3$	$138,50.10^3$

Bảng 7.4. Các trị số về diện tích tiết diện ngang, bán kính thủy lực và các đại lượng đặc trưng lưu lượng $K' = \omega C\sqrt{R}$ của các ống có tiết diện tròn khi hệ số nhám n = 1

Đường kính d (m)	Diện tích tiết diện ngang (m^2)	Bán kính thủy lực R (m)	Đặc trưng lưu lượng K' (m^3/s)	Đường kính d (m)	Diện tích tiết diện ngang (m^2)	Bán kính thủy lực R (m)	Đặc trưng lưu lượng K' (m^3/s)
0,5	0,1964	0,125	0,0492	4,0	12,5664	1,000	12,556
0,6	0,2827	0,150	0,0798	5,0	19,635	1,250	22,750
0,7	0,3849	0,175	0,123	-	-	-	-
0,8	0,5027	0,200	0,172	6,0	28,2743	1,500	36,96
0,9	0,6362	0,225	0,236	7,0	38,4845	1,750	55,81
1,0	0,7854	0,250	0,311	8,0	50,2655	2,000	79,69
1,5	1,7672	0,375	0,918	9,0	63,6173	2,250	109,10
2,0	3,1416	0,500	1,975	10,0	78,5398	2,500	144,50
2,50	4,9087	0,625	3,582	12,0	113,097	3,000	235,00
3,0	7,0687	0,750	5,822	14,0	153,936	3,500	357,50
3,50	9,6211	0,875	8,789	16,0	311,062	4,000	505,90

Ghi chú: Các trị số K' cho trong bảng được xác định với $C = \frac{1}{n}R^{1/6}$, n

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 7.5. Các giá trị của đặc trưng lưu lượng K_{bph} đối với các ống thép mới, tính theo công thức Sifrinxơn (với k_{td} = 0,2mm)

d (mm)	40	50	75	100	125	150	175	200	225	250
K_{bph} (l/s)	6,16	11,1	32	68,5	128	204	303	421	581	780

d (mm)	300	350	400	450	500	600	700	800	900
K_{bph} (l/s)	1235	1890	2630	3980	4720	7550	11350	16200	22300

Bảng 7.6. Các giá trị của sức cản đơn vị A_{bph} đối với các ống thép mới tính theo công thức Sifrinxơn (với k_{td} = 0,1mm)

d (mm)	ω (m^2)	ω^2	λ	A_{bph}
0,1	0,00785	0,0000615	0,0192	158,6
0,15	0,0177	0,000314	0,0177	19,15
0,20	0,0314	0,00099	0,0164	4,21
0,25	0,0491	0,00241	0,0155	1,32
0,30	0,0707	0,005	0,0148	0,504
0,40	0,1257	0,0158	0,0138	1,111
0,50	0,196	0,0384	0,013	0,346
0,60	0,283	0,08	0,0124	0,0131
0,70	0,385	0,148	0,012	0,00591
0,80	0,503	0,244	0,0116	0,00303
0,90	0,636	0,405	0,0113	0,00158
1,00	0,785	0,615	0,011	0,00091

Thí dụ: Tìm đặc trưng lưu lượng đối với đường ống có đường kính d = 3m, với hệ số nhám n = 0,017.

Giải:

Theo bảng 4.2 khi n' = 0,020 đối với d = 3m ta tìm được K'_{bph} = 289 m^3/s. Khi đó giá trị cần tìm của đặc trưng lưu lượng với n = 0,017 sẽ bằng:

$$K_{bph} \approx K'_{bph}\frac{n'}{n} = 289\frac{0,020}{0,017} = 340 \ m^3/s$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

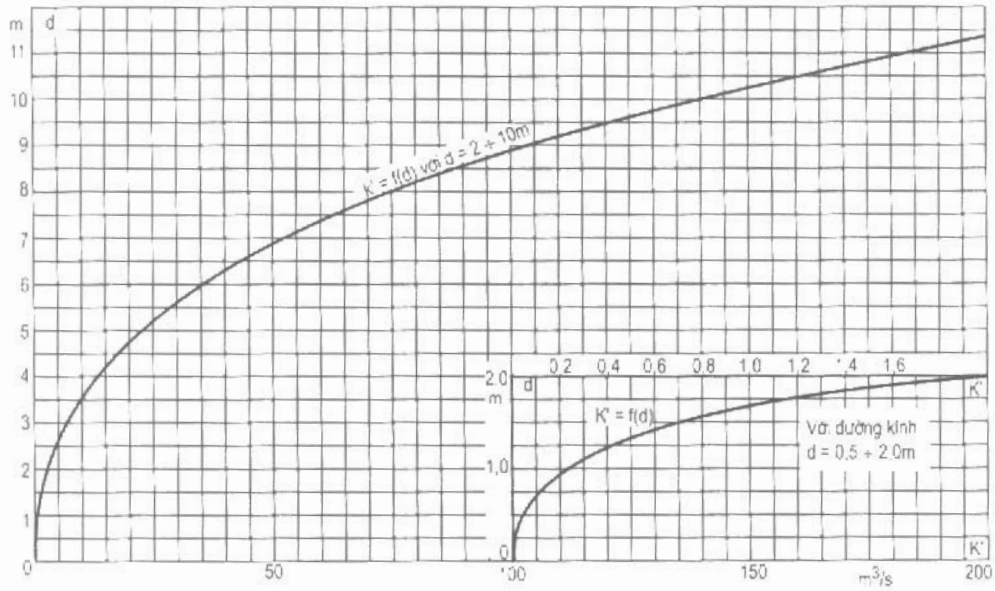
Trên đồ thị ở hình 7.2 và trong bảng 7.4 đã cho các giá trị của đặc trưng lưu lượng đối với hệ số nhám n = 1($C' = R^{1/6}$) tức là cho $K' = \omega C' \sqrt{R}$ ($K' = Kn$).

Việc giải ba loại bài toán cơ bản khi tính đường ống trong khu bình phương sức cản được tiến hành theo thứ tự sau đây:

Bài toán 1: Tìm Q; cho trước h_d, d, *l* và n.

Giải:

1- Theo đồ thị của hình 7.2 tìm được K' ứng với đường kính d đã cho.



Hình 7.2: *Đồ thị để xác định đặc trưng lưu lượng của ống tròn ứng với hệ số nhám n = 1, $C' = R^{1/6}$*

2. Tính giá trị thực tế của đặc trưng lưu lượng (tức là với hệ số nhám n đã cho) theo công thức:

$$K = K'/n$$

3. Tìm lưu lượng cần tính

$$Q = \sqrt{\frac{h_d}{l}}$$

Thí dụ: Cho d = 1,5m; *l* = 500m; h_d = 0,75m; n = 0,015. Hãy xác định Q.

1- Với n = 1, theo đồ thị 7.2 đối với d = 1,5 tìm được đặc trưng lưu lượng K' = 0,85.

2- Đặc trưng lưu lượng thực tế với n = 0,015 bằng:

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$K = \frac{K'}{n} = \frac{0,75}{0,015} = 56,6 \ m^3/s$$

3- Lưu lượng cần tìm

$$Q = K\sqrt{\frac{h_d}{l}} = 56,6\sqrt{\frac{0,75}{500}} = 2,2 \ m^3/s$$

Bài toán 2. Cho Q, d, *l*, n. Tìm h_d.

Giải:

1- Theo đồ thị ở hình 7.2 tìm được K' ứng với đường kính d, nhưng với n = 1, tức là K' tính theo công thức:

$$K' = \omega R^{2/3} \text{ hay } K' = \frac{\pi d^2}{4}\left(\frac{d}{4}\right)^{1/6}\sqrt{\frac{d}{4}} = 0,3113d^2\sqrt[3]{d^2}$$

2- Tính $K = \frac{1}{n}K'$

3- Tính $h_d = \frac{Q^2}{K^2}l$

Bài toán 3. Cho Q, h_d, *l*, n. Xác định d.

Giải:

1- Tính $K = Q\sqrt{\frac{l}{h_d}}$ hoặc $K = \frac{Q}{\sqrt{J}}$

2- Tính K' = k.n.

3- Theo đồ thị ở hình 7.2 tìm được giá trị d ứng với giá trị K' của đặc trưng lưu lượng vừa tính được.

b) Khi quy luật sức cản không là bình phương

Khi tính các đường ống có áp của nhà máy thủy điện, quy luật bình phương sức cản không luôn luôn được thỏa mãn. Thí dụ, khi v = 2 m/s, k_{td} = 0,1mm và v = 0,01 cm^2/s, ta được giá trị của tiêu chuẩn (7-8):

$$Re\frac{k_{td}}{d} = \frac{vk_{td}}{\nu} = \frac{200.0,01}{0,01} = 200 < 400$$

Nếu các đường ống làm việc ở khu sức cản không bình phương thì tổn thất cột nước dọc đường được xác định theo các công thức:

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$h_d = \psi \frac{Q^2}{K^2_{bph}} l \qquad (7\text{-}13)$$

$$h_d = \psi A_{bph} \overline{lQ}^2 = \psi S_{bph} Q^2 \qquad (7\text{-}14)$$

trong đó:

K_{bph}, A_{bph}, S_{bph} - các giá trị của đặc trưng lưu lượng, sức cản đơn vị và sức cản của đường ống ở khu vực bình phương của sức cản;

ψ - hệ số hiệu chỉnh do không thuộc khu bình phương sức cản:

$$\psi = \frac{\lambda}{\lambda_{bph}} \qquad (7\text{-}15)$$

trong đó:

λ - hệ số sức cản dọc đường của đường ống đang xét;

λ_{bph} - hệ số sức cản dọc đường ống đó trong khu vực bình phương sức cản, tức là với $\frac{vk_{nh}}{\nu} > 500$.

Nếu lấy λ theo công thức (4-18), ta được biểu thức hệ số hiệu chỉnh về khu vực không bình phương[1]:

$$\psi = \left(1 + \frac{68\nu}{vk_{td}}\right)^{0,25} \qquad (7\text{-}16)$$

Các giá trị của hệ số ψ đối với chuyển động của nước ($\nu = 0,01$ cm^2/s) trong ống với độ nhám tuyệt đối $k_{td} = 0,1$mm và $k_{td} = 1$mm được cho trong bảng 7.7.

Bảng 7.7. Các giá trị hiệu chỉnh ψ do không thuộc khu bình phương theo công thức Altsul (7-16)

v (cm/s)	1	10	20	30	40	50	100	150	200	300	400	500
Khi $k_{td} = 0,1$mm	2,88	1,67	1,45	1,35	1,28	1,24	1,14	1,10	1,08	1,05	1,04	1,03
$k_{td} = 1$mm	1,67	1,14	1,08	1,05	1,04	1,03	1,015	1,01	1,0	1,0	1,0	1,0

Trong bảng 7.8 ghi các giá trị của hệ số ψ của các ống dẫn nước theo số liệu của F. A. Sêvêlep[2].

---

[1] Altsul - Sách đã dẫn, XB năm 1970.

[2] Sêvêlep - Sách đã dẫn. XB 1953.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 7.8. Các giá trị hiệu chỉnh về khu không bình phương của các ống dẫn nước (theo Sêvêlép)

Ống	Vận tốc v (m/s)												
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0
Bình thường	1,19	1,14	1,11	1,08	1,06	1,03	1,01	1,0	1	1	1	1	1
Gang mới	1,51	1,42	1,36	1,32	1,28	1,22	1,18	1,15	1,12	1,10	1,08	1,05	1,03
Thép mới	1,22	1,18	1,16	1,14	1,12	1,10	1,08	1,07	1,06	1,05	1,04	1,03	1,02

Các bài toán cơ bản trong tính thủy lực đường ống có áp[1]

Bài toán 1. Xác định lưu lượng Q, nếu cho d, l, h_d, n (hay k_{td}).

Giải:

1- Theo bảng 7.2 (hoặc 7.3 ÷ 7.5) tìm được giá trị của đặc trưng lưu lượng tính toán K_{bph} đối với các đường kính d và n đã cho (hoặc k_{td}).

2- Xác định lưu lượng của đường ống đối với khu bình phương sức cản

$$Q_{bph} = K_{bph}\sqrt{\frac{h_d}{l}}$$

3- Theo bảng 7.7 (hoặc 7.8) tìm giá trị ψ đối với vận tốc $v = \frac{Q_{bph}}{\pi d^2}$.

4- Tính giá trị của lưu lượng cần biết $Q = K_{bph}\sqrt{\frac{\psi.h_d}{l}}$.

Bài toán 2. Xác định h_d (hoặc J) khi cho Q, d, n (hoặc k_{td}).

Giải:

1. Theo một trong các bảng 7.2 ÷ 7.5, ta tìm K_{bph} ứng với đường kính đã cho và hệ số nhám đã biết của thành.

2. Theo bảng 7.7 (hoặc 7.8) tìm giá trị ψ ứng với vận tốc đã cho $v = \frac{4Q}{\pi d^2}$.

3. Tính $h_d = \psi\frac{Q^2}{K_{bph}^2}l$ hoặc $J = \frac{\psi Q^2}{K_{bph}^2}$.

---

[1] Trong mục này xét các tính toán đường ống trong khu quy luật sức cản không phải bình phương; khi sức cản bình phương thì cần lấy $\psi = 1$.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bài toán 3. Xác định đường kính d của đường ống khi cho Q, h_d, l (hoặc Q và J) và n (k_{td}).

Giải:

1- Tính giá trị cần thiết của K_{bph} theo công thức:

$$K_{bph} = Q\sqrt{\frac{l}{h_d}} \text{ hay } K_{bph} = \frac{Q}{\sqrt{J}}$$

tức là tạm giả thiết $\psi = 1$.

2- Theo một trong các bảng 7.2 ÷ 7.5 tìm một đường kính d_1 ứng với K_{bph} ấy (sử dụng cách nội suy vào đó).

3- Tìm được vận tốc $v_1 = 4Q/\pi d_1^2$ và trị số ψ tương ứng với vận tốc ấy, sau đó tính giá trị K theo công thức:

$$K = Q\sqrt{\frac{\psi}{J}} = Q\sqrt{\frac{\psi l}{h_d}}$$

4- Theo bảng 7.2 ÷ 7.4 tìm đường kính d ứng với giá trị K vừa tìm được.

Thí dụ: Xác định tổn thất cột nước do ma sát ở trong một đường ống thép mới có đường kính d = 200mm và dài l = 1000m khi cho thoát một lưu lượng nước Q = 50 l/s.

Giải:

1- Theo bảng 4.1 tìm được độ nhám tương đương tuyệt đối của ống thép mới là k_{td} = 0,1mm.

2- Đối với độ nhám tìm được k_{td} và đường kính cho trước d = 200mm, theo bảng 7.6 tìm được giá trị của sức cản đơn vị của đường ống khi làm việc ở khu bình phương sức cản A_{bph} = 4,21.

3- Tìm tổn thất cột nước do ma sát ở điều kiện đường ống làm việc trong khu bình phương sức cản

$$h_{d.bph} = A_{bph} l Q^2 = 4,21.1000.0,05^2 = 10,5m$$

4- Tìm vận tốc chuyển động của nước trong ống và xác định hệ số hiệu chỉnh không bình phương theo bảng 7.7.

$$v = \frac{Q}{\omega} = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4.0,05}{3,14.0,2^2} = 1,6 \text{ m/s}$$

$$\psi = 1,10$$

5- Tìm giá trị của tổn thất cột nước cần thiết:

$$h = \psi h_{d.bph} = 1,10.10,5 = 11,6m$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

7.4. VẬN TỐC KHÔNG XÓI GIỚI HẠN CHO PHÉP THEO CÁC ĐIỀU KIỆN VỀ CƯỜNG ĐỘ VẬT LIỆU CỦA ỐNG DẪN NƯỚC CÓ ÁP

Trong bảng 7.9 có ghi những giá trị vận tốc trung bình cho phép trong ống dẫn nước có áp theo cường độ vật liệu dùng cho trường hợp trong nước chỉ chứa một ít muối và bùn cát và có thể sinh ra những tác dụng không tốt nhưng vẫn không đòi hỏi phải xét đến ảnh hưởng của chúng trong thời gian sử dụng.

Vận tốc ghi trong bảng có thể dùng trong các trường hợp các ống có áp ở phía đuôi. Còn trong các ống dẫn có áp, các đại lượng vận tốc trung bình được xác định bằng các tính toán về kinh tế và các điều kiện cấu tạo. Các giá trị này thường nhỏ hơn nhiều so với các giá trị vận tốc giới hạn cho phép ghi trong bảng 7.9.

Bảng 7.9. Các vận tốc giới hạn cho phép đối với đường dẫn nước có áp (m/s)

Loại công trình	Đường kính đường dẫn nước (m)					
	1	2	3	4	5	6 và lớn hơn
Các tuynen đặt trong đá tinh thể không có lớp trát thêm, với cường độ phá hoại chừng 400 ÷ 1600 kG/m^2 trên mặt đá nhẵn.	26	30	32	34	36	37
Cũng như thế trên mặt đá làm thô	17	20	22	23	24	25
Đường hầm có áp, đặt trong đá tinh thể không có lớp trát thêm, với cường độ phá hoại chừng 1600 ÷ 2200 kG/cm^2 hoặc lớn hơn, mặt đá nhẵn	35	40	43	46	48	50
Cũng như thế, mặt đá làm thô	23	26	28	30	31	32
Ống dẫn nước bằng bêtông cốt thép và đường hầm có lớp trát thêm bằng bêtông, bằng ximăng hay phun vữa ximăng làm thật kĩ (tùy theo mác bêtông)	32 ÷ 17	37 ÷ 20	40 ÷ 22	42 ÷ 23	44 ÷ 24	46 ÷ 25
Ống dẫn nước bằng gỗ	26	30	32	34	36	37
Ống dẫn nước bằng kim loại (thép)	Theo cường độ, vận tốc nào cũng có cho phép. Việc chọn vận tốc cho phép phụ thuộc vào số hiệu kim loại và được xác định theo kết cấu của ống dẫn nước, theo các điều kiện về kinh tế (sự hao mòn do hiện tượng xâm thực và han gỉ).					

Ghi chú: Trong trường hợp trong dòng chảy có các muối hoạt tính và bùn cát, các trị số vận tốc cho phép giới hạn ghi ở bảng cần phải giảm xuống tùy theo thời gian kéo dài giữa các lần sửa chữa, số lượng và thành phần của muối hoạt tính và bùn cát.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

7.5. SỰ THAY ĐỔI KHẢ NĂNG THOÁT NƯỚC CỦA CÁC ĐƯỜNG ỐNG CÓ ÁP TRONG QUÁ TRÌNH VẬN HÀNH

Khi thiết kế các đường ống có áp cần phải lưu ý rằng khả năng thoát nước của đường ống sẽ thay đổi dần dần trong quá trình vận hành, trong một số trường hợp (như đối với các đường ống cấp nước có thể giảm xuống chỉ còn 50% trị số tính toán hoặc thậm chí còn thấp hơn nữa. Hệ số nhám của ống tăng lên do quá trình han gỉ và bám cặn (hình thành các chất lắng đọng trong đường ống). Hệ số này trong lần gần đúng thứ nhất có thể đánh giá theo công thức:

$$k_t = k_o + \alpha t \qquad (7\text{-}17)$$

trong đó: k_o - độ nhám tuyệt đối (mm) của ống mới (bắt đầu sử dụng);

k_t - độ nhám tuyệt đối sau t năm vận hành;

α - hệ số, đặc trưng cho nhịp độ tăng của độ nhám (mm/năm).

Giá trị của hệ số α phụ thuộc vào vật liệu làm ống và vào tính chất của chất lỏng. Đối với nước lạnh trong các ống thép, các giá trị α được cho trong bảng 7.10 phụ thuộc vào tính chất hóa lý của nước được dẫn đi.

Bảng 7.10. Các giá trị của tham số α trong công thức 7-17 đối với các ống dẫn nước bằng thép[1]

Nhóm nước tự nhiên	α (mm/năm)
Nước có ít chất khoáng không ăn mòn; nước có hàm lượng không đáng kể các chất hữu cơ và chất sắt bị hòa tan.	0,005 ÷ 0,055 Giá trị trung bình 0,025
Nước có ít muối khoáng có tính ăn mòn; nước có chứa chất hữu cơ và chất sắt hòa tan ít hơn 3 miligam/lít	0,055 ÷ 0,18 Giá trị trung bình 0,07
Nước ăn mòn mạnh nhưng có hàm lượng clorit và sunfat không lớn; nước có hàm lượng sắt không quá 32 miligam/lít	0,18 ÷ 0,40 Giá trị trung bình 0,20
Nước ăn mòn có hàm lượng clorit và sunfat lớn (lớn hơn 500 - 700 miligam/lít); nước chưa được xử lí có hàm lượng chất hữu cơ cao.	0,4 ÷ 0,6 Giá trị trung bình 0,51
Nước ăn mòn mạnh và có chất khoáng, có độ cứng nhỏ không đổi và nhiều cacbonat, có cặn nén chặt nhiều hơn 2g/lít	Từ 0,6 ÷ 1 và lớn hơn nữa

[1] Altsul, Sách đã dẫn, 1964.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Thí dụ: Ống thép mới có đường kính d = 250mm với độ nhám tuyệt đối tương đương k_o = 0,1mm được tính toán cho lưu lượng Q_o = 52,8 *l*/s. Yêu cầu xác định lưu lượng Q_t của đường ống sau 15 năm sử dụng. Nước ít khoáng và không ăn mòn. Những nghiên cứu được tiến hành sau 2 năm bắt đầu sử dụng chứng tỏ rằng độ nhám tuyệt đối của ống tăng lên đến k_2 = 0,2mm.

Giải:

1- Theo bảng 7.10 tìm được, nước ở nhóm thứ nhất. Đối với nhóm ấy hệ số α = 0,005 ÷ 0,055 mm/năm.

2- Theo công thức (7-17) ta có:

$$k_2 = k_o + \alpha t; \qquad 0,2 = 0,1 + \alpha.2 ; \qquad \alpha = 0,05 \text{ mm/năm}$$

Chúng ta lấy α = 0,05 mm/năm để tính toán.

3- Ta tìm giá trị tính toán của độ nhám tuyệt đối của đường ống sau 15 năm vận hành.

$$k_{15} = k_o + \alpha.15 = 0,1 + 0,05.15 = 0,85\text{mm}$$

4- Với giả thiết về khu sức cản bình phương, tìm được giá trị của hệ số ma sát thủy lực sau 15 năm vận hành.

$$\frac{\lambda_{15}}{\lambda_o} = \frac{0,11^{\varphi}\left(\frac{k_{15}}{d}\right)^{0,25}}{0,11\left(\frac{k_o}{d}\right)^{0,25}} = \left(\frac{k_{15}}{k_o}\right)^{0,25}$$

$$\lambda_{15} = \lambda_o\left(\frac{k_{15}}{k_o}\right)^{0,25} = \lambda_o\left(\frac{0,85}{0,10}\right)^{0,25} = 1,71\lambda_o$$

$$\frac{Q_{15}}{Q_o} = \frac{C_{15}\sqrt{Ri}}{C_o\sqrt{Ri}} = \sqrt{\frac{\lambda_o}{\lambda_{15}}} = \sqrt{\frac{\lambda_o}{1,71\lambda_o}} = 0,766$$

$$Q_{15} = 0,766Q_o = 52,8.0,766 = 40,5 \ \ l/s$$

tức là khả năng thoát của đường ống giảm xuống một lượng bằng

$$\frac{52,8 - 40,5}{52,8}\cdot 100 = 23\%$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

7.6. MỘT SỐ BÀI TOÁN VỀ TÍNH TOÁN ỐNG DẪN NƯỚC CÓ ÁP

a) Ống hút nước của máy bơm

Trị số chân không ở điểm A (trên trục máy bơm; hình 7.3).

$$h_{ck} = h + \frac{v^2}{2g} + \sum h_{\omega} = h + \frac{v^2}{2g}\left(1 + \sum\zeta + \gamma\frac{l}{d}\right)$$

$$h_{ck} = h + \frac{16Q^2}{2g\pi^2 d^2}\left(1 + \sum\zeta + \lambda\frac{l}{d}\right)$$

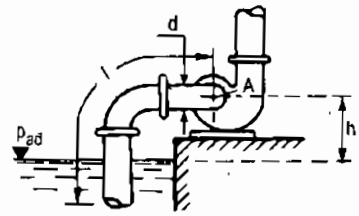
trong đó:

h - độ cao của trục máy bơm (điểm A) so với mặt thoáng của nước (độ cao hút);

v và Q - vận tốc trung bình và lưu lượng trong ống hút;

l và d - chiều dài và đường kính ống hút;

λ và ζ - hệ số ma sát thủy lực và hệ số cản cục bộ.



Hình 7.3: *Để tính toán ống hút của máy bơm*

Khi cho trước độ cao hút và các cấu kiện của ống hút (d, l, v.v...), lưu lượng lớn nhất Q_{max} bằng:

$$Q_{max} = \frac{\pi d^2}{4}\sqrt{\frac{2g([h_{ck}] - h)}{1 + \sum\zeta + \lambda\frac{l}{d}}} \qquad (7\text{-}18)$$

trong đó: $[h_{ck}]$ - trị số chân không cho phép lớn nhất ứng với kết cấu bơm; trong thực tế đối với các tính toán sơ bộ có thể lấy trung bình $[h_{ck}] = 7 \div 7{,}5$m.

Trong các điều kiện trung bình, đối với các tính toán sơ bộ thô, nếu lấy $[h_{ck}] = 7{,}5$m với $\Sigma\zeta = 0{,}3$, $\lambda = 0{,}02$ và $l/d = 100$, ta có:

$$Q_{max} = 1{,}92d^2\sqrt{7{,}5 - h} \ \ (m^3/s)$$

trong đó: d và h tính bằng m.

Thí dụ: Trục của một bơm li tâm được đặt ở độ cao h = 5m, chân không cho phép $[h_{ck}] = 7{,}5$m; đường kính ống hút d = 0,5m.

Lưu lượng lớn nhất có thể được sẽ bằng (gần đúng):

$$Q_{max} \approx 1{,}92d^2\sqrt{7{,}5 - h} = 1{,}92.0{,}5^2\sqrt{7{,}5 - 5} = 0{,}75 \ m^3/s$$

Ghi chú: Khi tiếp tục tăng số vòng quay của bơm (li tâm) nhằm nâng cao công suất, thì dòng chảy sẽ bắt đầu bị gián đoạn và bơm có thể ngừng hoạt động. Không nên tăng công suất lên quá Q_{max} bằng cách tăng số vòng quay, mặc dầu kết cấu và công suất của động cơ điện có thể cho phép làm như thế.

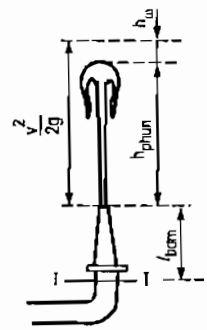
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

b) Vòi phun nước (hình 7.4)

Chiều cao phun lên của dòng tia thẳng đứng bằng:

$$h_{phun} = \frac{v^2}{2g} - h_w = \frac{v^2}{2g}(1 - \zeta_{dt})$$



Hình 7.4

hay là: $$h_{phun} = \frac{16Q^2}{2g\pi^2 d^4}(1 - \zeta_{dt})$$

trong đó:

v và Q - vận tốc trung bình và lưu lượng ở tiết diện ra;

h_w - cột nước bị tổn thất do sức cản của không khí gây nên;

d - đường kính của tiết diện ra;

ζ_{dt} - hệ số sức cản của dòng tia.

Khi tia phun ra tự do, ta có các công thức kinh nghiệm khác nhau để xác định hệ số sức cản dòng tia ζ_{dt}.

Theo Liughe: $$\zeta_{dt} = \frac{kH}{1 + kH}$$

trong đó:

H - cột nước toàn phần ở miệng lỗ ra, $H = v^2/2g$;

k - hệ số, $k = \frac{0,00025}{d + 1000d^3}$ (trong đó d - đường kính lỗ ra (m)).

Thí dụ: Với H = 100m và d = 0,05m ta có hệ số sức cản của dòng tia bằng:

$$\zeta_{dt} = \frac{kH}{1 + kH} = \frac{\frac{0,00025}{0,05 + 1000.0,05^3} \cdot 100}{1 + \frac{0,00025}{0,05 + 1000.0,05^3} \cdot 100} = 0,125$$

Chiều cao dâng nước của dòng tia:

$$h_{phun} = H(1 - \zeta_{dt}) = 100(1 - 0,125) = 87,5m$$

Ghi chú: Khi giả thiết $\zeta_{dt} = 0,1$, trong các tính toán sơ bộ ta được:

$$h_{phun} \approx 0,074\left(\frac{Q}{d^2}\right)^2 \quad (m)$$

trong đó: Q tính bằng m^3/s, còn d tính bằng cm. Nếu Q tính bằng *l*/s, còn d tính bằng cm, thì

$$h_{phun} = 7,4\frac{Q^2}{d^4} \quad (m)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Áp suất đo đạc: Ở tiết diện I-I trước vòi ghép (hình 7.4), áp lực đo đạc (chiều cao đo áp p/γ) tính bằng mét cột nước tĩnh, được xác định theo công thức (bỏ qua cột nước vận tốc $v^2/2g$ ở tiết diện I-I cũng như chiều dài của vòi):

$$\frac{p}{\gamma} = \frac{v^2}{2g}(1+\zeta_{dt}) = h_{ph}\frac{1+\zeta_h}{1+\zeta_{dt}}$$

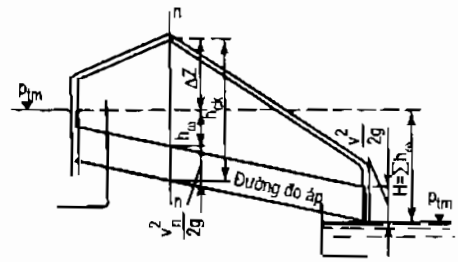
Giá trị hệ số sức cản của vòi xem trong bảng 5.7.

c) Ống xiphông (hình 7.5)

Hiệu số mực nước thượng lưu và hạ lưu H sẽ bằng tổng của tất cả các sức cản thủy lực của ống xiphông:

$$H = \sum h_w = \sum \lambda \frac{l}{d}\frac{v^2}{2g} + \sum \zeta \frac{v^2}{2g}$$

trong đó: Σζ - tổng các hệ số của các sức cản thủy lực cục bộ bao gồm cả sức cản ở lối ra của ống xiphông vào bể ở dưới tháp.



Hình 7.5: *Để tính toán ống xiphông*

Nếu đường kính là như nhau, thì vận tốc v cũng giống nhau trên toàn bộ chiều dài của ống và vì vậy:

$$H = \frac{v^2}{2g}\left(\lambda\frac{l}{d}+\sum\zeta\right) = \frac{Q^2}{2g\omega^2}+\left(\lambda\frac{l}{d}+\sum\zeta\right)$$

Hiệu của các mực nước thượng lưu và hạ lưu H có thể lớn hơn 10m.

Giá trị của chân không ở mặt cắt n-n (hình 7.5) được xác định theo công thức:

$$h_{ck} = \Delta z + \frac{v_n^2}{2g} + \sum h_w$$

Khi đường kính ống không đổi:

$$h_{ck} = \Delta z + \frac{16Q^2}{2g\pi^2 d^4}\left(1+\lambda\frac{l}{d}+\sum\zeta\right)$$

Ghi chú: Xiphông chỉ có thể làm việc nếu được mồi nước trước, tức là làm cho nó đầy nước. Nếu độ chênh giữa các mức nước H > 10m, thì việc mồi xiphông chỉ có thể thực hiện được khi miệng dưới của ống được bịt kín.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

d) Đường ống có áp

Khi thiết kế các đường ống có áp thường gặp những bài toán sau đây:

1. Xác định lưu lượng Q ứng với đường kính cho trước và hiệu giữa các mức nước của mặt thoáng ở bể chứa nước H và đường đo áp ở cuối ống dẫn nước H_1, tức là biết $(H - H_1)$.

2. Xác định đường kính d cần thiết khi cho trước lưu lượng Q.

Việc tính toán cần được tiến hành có xét đến các tổn thất cục bộ và cột nước vận tốc. Chỉ với các đường dẫn nước rất dài và đường kính nhỏ hoặc khi tiến hành thiết kế sơ bộ mới có thể bỏ qua các hệ số này được.

Nếu đường dẫn nước trên suốt chiều dài của nó có cùng một đường kính d, thì lưu lượng Q được xác định theo công thức:

$$Q = \frac{\pi d^2}{4}\sqrt{\frac{2g(H-H_1)}{1+\sum\zeta+\lambda\frac{l}{d}}} \qquad (7\text{-}19)$$

hoặc là:

$$Q = \frac{\pi d^2}{4}\sqrt{\frac{2g(H-H_1)}{1+\sum\zeta+2g\left(\frac{\pi d^2}{4}\right)^2\frac{l}{K^2}}} \qquad (7\text{-}20)$$

trong đó:

Q = f(d) khi $(H - H_1)$ đã cho;

d, l và K - lần lượt là đường kính, chiều dài và đặc trưng lưu lượng của ống, $K = \omega C\sqrt{R}$;

$\Sigma\zeta$ - tổng tất cả các hệ số sức cản cục bộ;

H và H_1 - cao độ của mặt thoáng của bể cấp nước và của đường đo áp ở cuối ống $(H_1 = p/\gamma + z)$.

Thường thì ở cuối đường dẫn nước có các vòi (như vòi ở tuabin gáo của nhà máy thủy điện), có áp lực không khí ở mặt cắt ra, nên khi đó H_1 sẽ bằng cao độ của trọng tâm của tiết diện ra. Trong trường hợp đó công thức lưu lượng sẽ có dạng:

$$Q = \frac{\pi d_{ra}^2}{4}\sqrt{\frac{2g(H-z)}{1+\zeta+\left(\sum\zeta+\lambda\frac{l}{d}\right)\left(\frac{d_{ra}}{d}\right)^4}} \qquad (7\text{-}21)$$

trong đó: d_{ra} - đường kính lỗ ra của vòi;

d - đường kính của đường ống.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Khi đã cho lưu lượng Q, thì cũng có thể xác định được đường kính d theo các công thức bằng phương pháp thử dần hoặc phương pháp đồ giải.

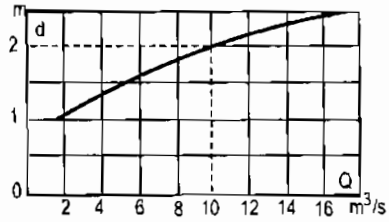
Thí dụ: Xác định đường kính d của ống bêtông cốt thép dẫn nước, cho biết mức nước thương lượng ∇_{TL} = 100m; cạo độ của đường đo áp ở cuối ống $\nabla_c = p/\gamma + Z$ = 98,5m; chiều dài ống l = 300m; lưu lượng Q = 10 m^3/s. Tổng tất cả các hệ số cản cục bộ bằng $\Sigma\zeta$ = 0,3.

Giả sử có khu sức cản bình phương.

Áp dụng công thức (7-20) ta được:

$$Q = \frac{4,25d^2}{\sqrt{1,3 + 2,42\frac{d^4}{K^2}}}$$

Để xác định đặc trưng lưu lượng K = K'/n, ta lấy hệ số nhám n = 0,013 (theo bảng 7.1) và theo đồ thị 7.2, theo đường kính ta tìm được K.



Hình 7.6: *Để tính đường ống có áp*

Sau đó tiến hành tính toán trên bảng:

$$A = 1,3 + 2,42\frac{d^4}{K^2}$$

d	$4,25d^2$	K' (n = 1,0)	$K = \frac{K'}{n}$ (n = 0,013)	$2,42\left(\frac{d^4}{K^3}\right)$	$\sqrt{A}$	$Q = \frac{4,25d^2}{\sqrt{A}}$
1	4,25	0,311	23,9	5,56	2,62	1,62
1,5	9,52	0,918	70,6	2,47	1,94	4,90
2,0	17,00	1,975	152,0	1,69	1,73	9,80
2,5	26,50	3,582	276,0	1,24	1,54	16,70

Theo đồ thị trên hình 7.6 ta tìm được đường kính của ống d = 2m.

Ghi chú: Nếu bỏ qua các sức cản cục bộ và cột nước vận tốc, thì đặc trưng lưu lượng

$$K = \frac{Q}{\sqrt{J}} = \frac{Q}{\sqrt{\frac{\Delta H}{l}}} = Q\sqrt{\frac{l}{\Delta H}} = 10\sqrt{\frac{200}{1,5}} = 115,2\ m^3/s$$

$$K' = Kn = 115,2.0,013 = 1,5\ m^3/s$$

Theo đồ thị hình 7.2, giá trị K' này tương ứng với đường kính d' = 1,85m, tức là nhỏ hơn đường kính tính toán trên (d = 2m). Lưu lượng lúc đó gần bằng 8,5 m^3/s chứ không phải là 10 m^3/s như đã cho.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Chương 8.

CHUYỂN ĐỘNG ĐỀU TRONG CÁC LÒNG DẪN HỞ (TÍNH KÊNH)

8.1. CÁC CÔNG THỨC TÍNH TOÁN VÀ CÁC HỆ THỨC CƠ BẢN

Lưu lượng được xác định theo công thức Sêzi:

$$Q = \omega C\sqrt{Ri} \quad (m^3/s) \tag{8-1}$$

Độ dốc và độ hạ thấp của kênh trên chiều dài l (tổn thất cột nước) được xác định theo các công thức:

$$i = \frac{v^2}{C^2R} = \frac{Q^2}{\omega^2C^2R} = \frac{Q^2}{K^2} \tag{8-2}$$

$$\Delta z = il = \frac{Q^2}{\omega^2C^2R}l = \frac{Q^2}{K^2}l \tag{8-3}$$

Đặc trưng lưu lượng (hay môđun lưu lượng)

$$K = \omega C\sqrt{R} = \frac{Q}{\sqrt{i}} \quad (m^3/s) \tag{8-4}$$

Đặc trưng vận tốc (hay môđun vận tốc)

$$W = C\sqrt{R} = \frac{v}{\sqrt{i}} \quad (m/s) \tag{8-5}$$

Xác định hệ số C:

Theo TY-24-108-48 của Bộ Điện Liên Xô, trong tất cả các trường hợp tính toán các kênh dẫn của nhà máy thủy điện có thể áp dụng công thức N. N. Pavlôpxki $C = \frac{1}{n}R^y$, trong đó: y - f(n, R).

Đối với các tính toán sơ bộ, có thể lấy y = 1/6 (theo Maninh) và tương ứng $C = \frac{1}{n}R^{1/6}$ hoặc y = 1/5 (theo Forhâyme) tương ứng $C = \frac{1}{n}R^{1/5}$.

Đối với những kênh lớn và các lòng dẫn nhân tạo khác mà việc tính toán cần đảm bảo chính xác (những tuynen không áp của nhà máy thủy điện), đề nghị dùng công thức đầy đủ của N. N. Pavlôpxki (bảng 4.7).

https://tieulun.hopto.org

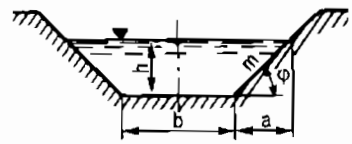
www.thuvien247.net

8.2. HÌNH DẠNG MẶT CẮT NGANG CỦA KÊNH

Tùy theo kích thước, công dụng kĩ thuật và điều kiện xây dựng (tính chất đất v.v...) mà lựa chọn hình dạng mặt cắt ngang của kênh.

Mặt cắt ngang kênh dẫn của nhà máy thủy điện phần lớn có dạng hình thang và đôi khi là chữ nhật. Những mặt cắt đặc biệt được dùng trong các đường dẫn kiểu tuynen và như những bộ phận của công trình thủy công.

Mặt cắt hình thang được đặc trưng bằng hệ số dốc bờ kênh m và độ rộng tương đối, tức là tỉ số $\beta = b/h$ (đại lượng này được lấy tùy theo công dụng của kênh hình 8.1).



Hình 8.1

Đối với những kênh có xây trát - dạng hay được dùng nhất thì mặt cắt có lợi nhất về thủy lực cũng là mặt cắt kinh tế nhất.

Đề nghị không dùng các mặt cắt quá rộng và nông. Đề nghị lấy β theo chiều sâu của kênh khi $h \le 2m$, $\beta < 10 \div 12$; khi $h = 2 \div 3m$, $\beta < 12 \div 15$; khi $h > 3m$, $\beta \le 20$.

Hệ số dốc bờ kênh m được chọn theo điều kiện ổn định của mái dốc, tùy theo chất đất làm kênh và phụ thuộc phương pháp gia cố mái (vào tính chất của lớp áo kênh). Theo TY-24-108-48 của Bộ Điện Liên Xô, đối với những kênh có chiều cao mái dốc nhỏ hơn 10m khi tính toán sơ bộ (như khi tính toán so sánh chọn tuyến kênh) có thể lấy các giá trị của hệ số dốc của mái theo bảng 8.1.

Bảng 8.1. Các giá trị của hệ số mái dốc m khi các độ cao mái dốc H ≤ 10m (theo TY-24-108-48 của Bộ Điện Liên Xô)

Loại đất hoặc dạng áo kênh	Hệ số mái dốc (m)
Đất cát hạt mịn	3 - 3,5
Đất pha cát hoặc chặt ít	2 - 2,5
Đất pha cát chặt và pha sét nhẹ	1,5 - 2,0
Đất có sỏi và có cát sỏi	1,5
Đất pha sét nặng, hoàng thổ chặt và đất sét thường	1 - 1,5
Đất sét nặng chặt	1
Các loại đá khác nhau tùy theo mức độ phong hóa	0,5 - 0,10

Ghi chú:

1- Độ dốc trên mặt nước lấy đứng hơn:

Áo kênh bằng bêtông, bêtông atfan	$m \approx 1,25$
Áo kênh bằng sỏi đổ và đá đổ	$m \approx 1,50$
Áo kênh bằng vật liệu thành phiến (sét, á sét)	$m \approx 2,5$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

2- Theo §88 của TY-24-108-48, độ ổn định của mái dốc cần được kiểm tra bằng những tính toán đặc biệt khi chiều cao > 5m (đối với kênh ở tất cả các cấp trong thiết kế kĩ thuật và đối với kênh cấp I trong thiết kế sơ bộ).

Trong điều kiện thiếu những thông báo về đặc tính kĩ thuật của thổ nhưỡng và đối với những soạn thảo ban đầu nên lấy các giá trị của m không nhỏ hơn:

Khi chiều cao bờ mái	m đối với mái không gia cố	m đối với mái phủ bêtông
H ≤ 3m	1,5	1,25
H = 3 ÷ 5m	2,0	1,75

Khi chiều cao mái kênh H > 5m, cần được kiểm tra về độ ổn định của mái kênh bằng những tính toán đặc biệt.

8.3. CHỌN HỆ SỐ NHÁM

Khi thiết kế các kênh hở có chiều dài lớn, việc chọn lựa đúng hệ số nhám có ý nghĩa lớn[1]. Nếu như kênh đang tồn tại và đang ở trạng thái khai thác thì việc đánh giá trạng thái của đáy và các bờ kênh sẽ gặp khó khăn và để tính toán chính xác kênh hở, cần xác định hệ số nhám bằng những nghiên cứu đặc biệt trên hiện trường.

Khi thiết kế các kênh, hệ số nhám được chọn cho phù hợp với chỉ dẫn về các giá trị n (bảng 8.2) trong TY của Bộ Điện Liên Xô. Cần tiến hành tính toán theo chỉ dẫn của N. N. Pavlôpxki với 3 hệ số nhám n, mà cụ thể là - cần tiến hành tính toán cơ bản với giá trị hệ số nhám được chọn với xác suất lớn nhất; còn hai tính toán khác (kiểm tra) cần tiến hành với một giá trị hệ số nhám gần lớn hơn (thiên lớn) và một với hệ số nhám gần nhỏ hơn.

Để so sánh và dễ ước lượng trong lúc chọn hệ số nhám tính toán, trong các bảng 8.3 ÷ 8.6 đưa bổ sung thêm các đề nghị của N. N. Pavlôpxki.

---

[1] Bởi vì $Q = \omega \frac{1}{n_1} R^y \sqrt{Ri_1} = \omega \frac{1}{n_2} R^y \sqrt{Ri_2}$ nên $i_1 = i_2 (n_1/n_2)^2$. Do đó để thoát qua một lưu lượng đã cho Q trong những điều kiện khác như nhau khi hệ số nhám thay đổi, ta cần phải đồng thời thay đổi độ dốc đáy một giá trị bằng tỉ số giữa 2 hệ số nhám bình phương. Thí dụ thay cho hệ số nhám cần chọn là n = 0,0225, lại lấy n = 0,025 thì độ dốc của kênh sẽ tăng lên $\left(\frac{0,025}{0,0225}\right)^2 = 1,24$ lần.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 8.2. Các giá trị của hệ số nhám n trong công thức N. N. Pavlôpxki theo TY-24-108-48 của Bộ Điện Liên Xô

Đặc trưng của mặt ngoài	Giá trị của n		
	Nhỏ nhất	Trung bình	Lớn nhất
1	*2*	*3*	*4*
Đá không có lớp áo kênh			
Các điều kiện đều rất tốt: kênh nằm hoàn toàn trong lớp đá: kênh rộng trên các lớp thổ nhưỡng có hướng nằm ngang	0,020	-	0,025
Các điều kiện trung bình: thành kênh bằng phẳng các lớp nhô ra được sửa phẳng.	0,025	0,033	0,035
Bề mặt rất không phẳng (kênh nằm sâu trong đá)	-	0,040	0,045
Đá có áo kênh một phần			
Có trát vữa hoặc phun ximăng vào đá, không có rãnh ở chỗ thấp của mặt cắt (dùng cho các tuynen an toàn)	0,022	-	0,030
Có đặt rãnh ở chỗ thấp của mặt cắt và trát vữa một phần cho các tuynen không áp	0,019	0,023	-
Các kênh đất			
Kênh trong đất hoàng thổ, trong đất chặt, thổ nhưỡng chặt, kênh được phủ bởi một lớp bùn mỏng không có bùn cát	-	0,020	-
Kênh lớn và trung bình đang ở trong tình trạng vận hành và duy tu tốt	-	0,0225	-
Kênh lớn trong điều kiện trung bình	-	0,025	-
Kênh trong điều kiện bảo dưỡng xấu	-	0,0275	-
Như trên, nhưng có cỏ mọc và có những chỗ mái kênh bị sạt lở	-	0,030	-
Kênh có mặt cắt không chính quy, nhiều cỏ mọc và rác rưởi	-	0,035	-
Ghi chú: Khi thi công bằng máy và không sửa lại bề mặt, làm cho hệ số nhám tăng lên:			
Với điều kiện tốt nhất tăng lên 0,10			
Với điều kiện trung bình tăng lên 0,20			
Với điều kiện xấu tăng lên 0,30			

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

1	2	3	4
Như trên, nhưng có hoàn thiện bề mặt:			
Với điều kiện tốt nhất tăng lên 0, 05			
Với điều kiện trung bình tăng lên 0,10			
Với điều kiện xấu tăng lên 0,15			
Máng bằng gỗ			
Gỗ ván hay gỗ thanh bào nhẵn ghép theo chiều chảy	0,011	0,013	0,014
Như trên, nhưng chưa bào	0,012	0,015	0,013
Máng bằng gỗ thùng ghép			
Ghi chú: Khi ván ghép ngang hướng chảy, hệ số nhám tăng thêm 0,001 ÷ 0,002 tùy theo mức độ khít của ván.	0,011	0,012	0,014
Lớp gia cố bằng bêtông hoặc bêtông cốt thép không trát vữa và mài nhẵn			
Bêtông nhẵn, có ván khuôn ghép tốt, không có chỗ lồi ra và lõm vào, làm tròn cạnh vừa phải trên bình diện, không có cát và sỏi ở đáy	0,013	0,014	0,015
Bêtông thô, có vết ván khuôn để lại (vết lõm, vết hằn) do không ghép khít và cả trong điều kiện có làm tròn cạnh trên bình diện và cát sỏi ở đáy	0,015	0,016	0,018
Bêtông và bêtông cốt thép được gia công trát và làm nhẵn cẩn thận:			
Khi chất lượng thi công cao: mặt trát bằng ximăng sạch và bề mặt nhẵn không chê trách được	-	0,011	-
Khi chất lượng thi công khá: mặt được làm nhẵn và san phẳng, các khe hở được là phẳng, có một ít chỗ làm tròn cạnh trên tuyến với bán kính cong, không có lắng đọng cát trên đáy	0,011	0,012	0,013
Bề mặt được phun ximăng:			
Được làm sạch bằng chổi sắt	0,016	0,018	-
Không có biện pháp đặc biệt gì	-	0,019	0,021
Đá lát mặt			
Đá làm mặt đường (đá hộc) xây vữa	0,017	0,0225	0,030
Đá trong rọ	0,025	0,027	0,032

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

1	2	3	4
Đá đổ	0,027	0,030	0,035
Đá dăm xếp	0,020	0,025	0,027
Đá cuội sỏi đổ	Từ 0,02 đến 0,025*		
Lớp phủ bằng vật liệu atfan hay bitum (lớp phủ bằng bêtông atfan và lớp phủ bằng dung dịch atfan, lớp phủ bằng cách cho ngậm sâu bitum)	0,013	0,014	0,015

* Giá trị nhỏ ứng với d_{tb} = 10mm, giá trị lớn - d_{tb} = 50mm.

Bảng 8.3. Các giá trị của hệ số nhám của kênh đất (Pavlôpxki đề nghị)

Đặc trưng của kênh	Các giá trị của n khi dùng phương pháp cơ giới xây dựng phụ thuộc vào điều kiện		
	Tốt	Trung bình	Xấu
Kênh trong hoàng thổ, đất chặt v.v... (ở tình trạng bình thường)	0,0220	0,0240	0,026
Kênh đất lớn trong điều kiện giữ gìn và sửa chữa cao hơn mức bình thường	0,025	0,027	0,029
Các kênh đất lớn trong điều kiện giữ gìn trung bình và các kênh nhỏ trong điều kiện giữ gìn tốt	0,0275	0,030	0,0325
Các kênh đất lớn trong điều kiện giữ gìn dưới mức trung bình và các kênh nhỏ trong điều kiện giữ gìn trung bình	0,030	0,033	0,0358
Các kênh trong các điều kiện tương đối tồi	0,033	0,036	0,039

Ghi chú: Cần lưu ý rằng trong quá trình vận hành, những chỗ không bằng phẳng của đáy và mái kênh xuất hiện lúc thi công bằng cơ giới sẽ dần dần bị san bằng.

Bảng 8.4. Hệ số nhám của các kênh đào trong đá (Pavlôpxki đề nghị)

Đặc tính của kênh	Hệ số nhám n
Kênh hoàn toàn đào trong đá	0,020 - 0,025
Kênh trong những điều kiện thi công đá trung bình, không làm nhẵn bề mặt cẩn thận, liên tục	0,030 - 0,035
Kênh đào thô trong đá	0,040 - 0,045

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 8.5. Hệ số nhám của kênh có lớp gia cố bằng đá xây (Pavlôpxki đề nghị)

Đặc tính lớp phủ	Trị số hệ số n		
	Tốt nhất	Thường dùng	Xấu nhất
Lớp phủ bằng đá có đẽo gọt	0,013	0,015	0,017
Gạch tráng men	0,011	0,013	0,015
Gạch xây bằng vữa ximăng	0,012	0,015	0,017
Đá xây bằng vữa ximăng	0,017	0,020 ÷ 0,025	0,030
Đá xây khan	0,025	0,030	0,035
Đá cuội, đá sỏi, rải theo kiểu làm mặt đường	-	0,020 ÷ 0,025	-

Bảng 8.6. Hệ số nhám của kênh có lớp bọc bêtông (Pavlôpxki đề nghị)

Đặc tính của mặt ngoài	Hệ số nhám n		
	Các điều kiện tốt nhất	Các điều kiện trung bình	Các điều kiện xấu nhất
Các mặt nhẵn nhất thường gặp trong thực tế, mái và đáy kênh được tu sửa rất cẩn thận, có các khe cấu tạo tốt, không có cát và sỏi ở đáy, trên tuyến kênh có một ít đoạn uốn cong với bán kính lớn	0,011	0,012	0,013
Mặt kênh không được nhẵn lắm (không trát hồ liên tục và cẩn thận) hay mặt kênh chưa được bào nhẵn lắm, có khe cấu tạo đạt yêu cầu, có các đoạn cong với bán kính trung bình, không có cát và sỏi ở đáy	0,013	0,014	0,015
Giống trường hợp trên, nhưng có cát và sỏi ở đáy, mặt bêtông nhám có khe nối làm xấu, các đoạn uốn cong có bán kính nhỏ	0,015	0,016	0,018
Bêtông phun bằng "súng ximăng"			
a) Trong những điều kiện tốt nhất, tức là khi mặt được làm phẳng bằng các bàn chải thép	0,016	-	-
b) Trong những điều kiện thi công trung bình, không làm phẳng bằng bàn chải	-	0,019	-
c) Khi thi công xấu	-	0,019	0,021

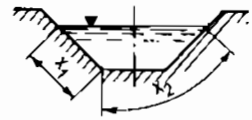
Ghi chú: Nếu trên bêtông phun có rêu, thì phải tăng các giá trị đó lên thêm khoảng 0,002.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Các kênh với độ nhám của lòng dẫn không đồng nhất:

Nếu lòng dẫn của kênh không đồng nhất: ở bộ phận này của chu vi ướt χ_1, hệ số nhám là n_1, còn ở bộ phận khác χ_2 là n_2 (hình 8.2) thì hệ số nhám cho cả mặt cắt có thể lấy (gần đúng) bằng:



Hình 8.2

$$n = \frac{n_1\chi_1 + n_2\chi_2}{\chi_1 + \chi_2} \qquad (8\text{-}6)$$

N. N. Pavlôpxki đề nghị lấy hệ số dẫn suất đó theo công thức:

$$n_{ds} = \sqrt{\frac{\chi_1 n_1^2 + \chi_2 n_2^2}{\chi_1 + \chi_2}} \qquad (8\text{-}7)$$

Thí dụ: Kênh được thiết kế với mặt cắt hình thang mái dốc lát bêtông, đáy không gia cố. Chiều dài phần mái gia cố bằng bêtông $\chi_1 = 6m$, hệ số nhám $n_1 = 0,012$ và chiều dài đáy không gia cố $\chi_2 = 5m$, hệ số nhám $n_2 = 0,025$. Hãy xác định giá trị tính toán của hệ số nhám.

Giải:

Áp dụng công thức (8-6) ta được:

$$n = \frac{n_1\chi_1 + n_2\chi_2}{\chi_1 + \chi_2} = \frac{0,012.6 + 0,025.5}{6+5} = 0,018$$

Áp dụng công thức (8-7) sẽ được:

$$n = \sqrt{\frac{n_1^2\chi_1 + n_2^2\chi_2}{\chi_1 + \chi_2}} = \sqrt{\frac{0,012^2.6 + 0,025^2.5}{6+5}} = 0,019$$

Khi tính kênh trong điều kiện có băng che phủ, hệ số nhám tính toán được xác định theo công thức (8-7), trong đó hệ số nhám của mặt dưới băng được xác định theo bảng 8.7.

Bảng 8.7. Hệ số nhám bề mặt dưới băng theo TY-24-108-48

Vận tốc trung bình của dòng trong thời kì đóng băng v (m/s)	Hệ số nhám n	
	Khi không có băng trôi	Khi có băng trôi
0,4 ÷ 0,6	0,010 ÷ 0,012	-
> 0,6	0,014 ÷ 0,017	0,017 ÷ 0,020

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

8.4. TÍNH TOÁN THỦY LỰC CÁC KÊNH MẶT CẮT HÌNH THANG

Ở đây chỉ nêu ra các chỉ dẫn về các bài toán xác định kích thước mặt cắt ngang của kênh. Giải các bài toán còn lại, cụ thể là xác định lưu lượng Q và độ dốc i, sẽ quy về việc tính trực tiếp các trị số đó theo công thức Sêzi $Q = \omega C\sqrt{Ri}$.

Tính thủy lực các kênh hở có mặt cắt hình thang khi đã cho hệ số dốc mái m và hệ số nhám n sẽ dẫn tới việc xác định một trong các đại lượng sau đây:

a) Chiều sâu của nước h trong kênh, khi cho trước Q, b, i;

b) Chiều rộng đáy của kênh b, khi biết Q, h, i;

c) h và b, khi cho trước Q, i và $\beta = b/h$;

d) h và b, khi cho biết Q, i và v.

Ghi chú: Các bài toán "b" và "d" có thể không có lời giải trong một số trường hợp, do có sự không phù hợp giữa các số liệu ban đầu. Điều kiện không tương thích sẽ được chỉ ra ở dưới.

Các bài toán cơ bản

a) Xác định chiều sâu h khi cho trước Q, i, b và xác định b khi cho trước Q, h và i

1. Phương pháp gần đúng liên tiếp (phương pháp thử dần) cho phép thu được kết quả theo công thức Sêzi với độ chính xác tùy ý, nhưng có khối lượng tính toán lớn.

Ghi chú: Đối với các mặt cắt hình tam giác (cũng như đối với các mặt cắt chữ nhật và hình thang có chiều rộng đáy lớn (b >> h), có thể tìm được độ sâu bằng cách giải trực tiếp không cần thử dần theo công thức Sêzi dưới dạng lôga.

• Đối với mặt cắt hình tam giác

$$Q = A\frac{\sqrt{i}}{n}h^{2,5+y} \qquad (8\text{-}8)$$

Do đó:

$$\lg h = \frac{\lg\left(\frac{Qn}{A\sqrt{i}}\right)}{2,5+y} \qquad (8\text{-}9)$$

trong đó:

$$A = \frac{m^{0,5+y}}{\left(2\sqrt{1+m^2}\right)^{0,5+y}} \qquad (8\text{-}10)$$

Các giá trị của A với y = 0,2 được ghi trong bảng 8.8.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 8.8. Các giá trị của $\frac{m^{1,7}}{\left(2\sqrt{(1-m^2)}\right)^{0,7}}$ phụ thuộc vào m

m	0,00	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
$A=\frac{m^{1,7}}{\left(2\sqrt{(1-m^2}\right)^{0,7}}$	0,00	0,176	0,482	0,81	1,14	1,46	1,78

• Đối với mặt cắt chữ nhật và hình thang (với b >> h)

Khi có thể coi R ≈ h[1] và giả thiết số mũ trong công thức Pavlôpxki của C bằng y = 1/6, tức là sử dụng công thức Maninh ta được:

$$h=\left(\frac{Qn}{b\sqrt{i}}\right)^{0,6} \qquad (8\text{-}11)$$

Thí dụ: Cho Q = 0,24 m^3/s; b = 25m; lòng dẫn hình chữ nhật, hệ số nhám n = 0,025 và độ dốc i = 0,0004. Hãy tìm độ sâu h của kênh.

Giải:

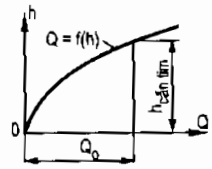
1- Theo công thức (8-11) tìm được:

$$h=\left(\frac{Qn}{b\sqrt{i}}\right)^{0,6}=\left(\frac{24.0,025}{25\sqrt{0,0004}}\right)^{0,6}=1,2^{0,6}$$

2- Lấy loga cả hai vế: lgh ≈ 0,65.0,08 = 0,052, từ đó h = 1,115m

2. Phương pháp đồ giải cơ bản

Theo phương pháp này, độ sâu h được xác định bằng đồ thị Q = f(h) hoặc K = f_1(h), trong đó K - đặc trưng lưu lượng. Cách giải tiến hành theo trình tự sau đây: Theo Q_o, b, i, m và n đã cho, tính ra các lưu lượng Q_1, Q_2, ... (hoặc đặc trưng lưu lượng K_1, K_2, ...) đối với các h_1, h_2... chọn tùy ý, rồi theo đó ta vẽ đồ thị của quan hệ Q = F(h) (hình 8.3) hoặc quan hệ K = F_1(h). Bây giờ, theo lưu lượng đã cho Q_o (hoặc theo đặc trưng lưu lượng cần thiết $K_o=\frac{Q_o}{\sqrt{i}}$) tìm ngay trên đồ thị đã vẽ độ sâu cần tìm h.



Hình 8.3

Xác định chiều rộng đáy kênh theo Q, h và i cho trước. Trong trường hợp này, ta vẽ đường cong Q = F(b) hoặc K = F_1 (b) [thay cho Q = F(h) và K = F_1(h)]. Tiếp đó giải theo trình tự như cũ, chiều rộng b cần tìm xác định theo đồ thị (hình 8.4).

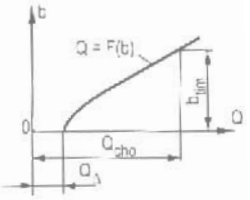
---

[1] Thực tế, khi b > (20 ÷ 25)h.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Ghi chú: Trên đồ thị (hình 8.4), các đường cong không xuất phát từ gốc tọa độ mà từ điểm nằm trên trục OQ. Đấy là vì khi b = 0, mặt cắt hình thang biến thành hình tam giác và lưu lượng của kênh sẽ bằng lưu lượng của mặt cắt tam giác.



Hình 8.4

3. Phương pháp Pavlôpxki (theo toán đồ của N. N. Pavlôpxki, hình 8.5). Cho Q, i và b, tìm h. Trình tự tính toán là:

- Xác định đặc trưng lưu lượng cần thiết:

$$K_o = \frac{Q}{\sqrt{i}}$$

- Bằng cách đọc trực tiếp trên toán đồ Pavlôpxki (hình 8.5), tìm được h ứng với đặc trưng lưu lượng K vừa tìm ra và chiều rộng đáy b đã cho.

Bài toán xác định chiều rộng b cũng giải một cách tương tự.

Thí dụ: Cho Q = 20 m^3/s; độ dốc i = 0,0004; chiều rộng đáy b = 10m và hệ số nhám n = 0,025. Xác định chiều sâu h của nước trong kênh.

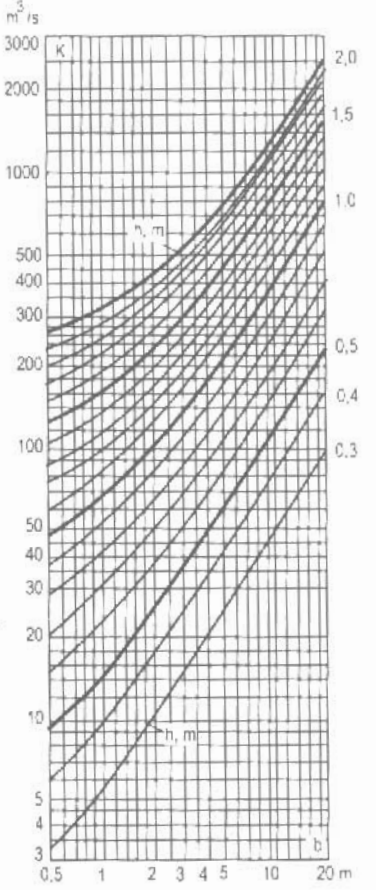
Giải:

Tính trị số đặc trưng lưu lượng $K_o = \frac{20}{\sqrt{0,0004}} = 1000$ m^3/s và theo toán đồ (hình 8.5) tìm được h = 1,65m (khi b = 10m).

Ghi chú: Ở đây chỉ đưa ra một toán đồ đối với trường hợp hay gặp nhất, cụ thể là khi m = 1,5 và n = 0,025.

4. Phương pháp V. Đ. Jurin

Đặc trưng lưu lượng $K = \omega C\sqrt{R}$ đối với kênh hình thang để xác định hệ số Sêzi C theo Maninh $\left(C = \frac{1}{n}R^{1/6}\right)$ được biểu thị bằng công thức:



Hình 8.5: *Đồ thị để tính các kênh hở (theo phương pháp N. N. Pavlôpxki);* $C = \frac{1}{n}R^{1/6}$, *n = 0,025 và m = 1,5.*

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$K_S = \frac{(\beta + m)^{1,67}}{\left(\beta + 2\sqrt{1+m^2}\right)^{0,67}} \cdot \frac{1}{n} \cdot h^{2,67} \qquad (8\text{-}12)$$

trong đó:

$\beta = b/h$;

m - hệ số mái dốc;

n - hệ số nhám.

Theo phương pháp Jurin có thể viết:

$$K_S = \frac{Qn}{\sqrt{i}} = K_{CS} h^{2,67} \qquad (8\text{-}13)$$

trong đó:

K_S - đặc trưng lưu lượng của hệ số nhám đơn vị (theo Jurin);

K_{CS} - đặc trưng lưu lượng ($K_{CS} = K$, khi h = 1m) bằng:

$$K_{CS} = \frac{(\beta + m)^{1,67}}{\left(\beta + 2\sqrt{1+m^2}\right)^{0,67}} = f(\beta, m) \qquad (8\text{-}14)$$

$K_S = f(\beta, m, h)$.

Phương trình (8-14) biểu thị bằng đồ thị dưới dạng một hệ các đường cong ứng với các giá trị m khác nhau. Trên mỗi một đồ thị ta biểu diễn họ các đường $K_S = \frac{Qn}{\sqrt{i}} = F(h)$ ứng với các giá trị $\beta_1, \beta_2, ..., \beta_n$ khác nhau.

Ta vẽ ba đồ thị do Jurin đề nghị ứng với $m_1 = 1,5$, $m_2 = 1,0$, $m_3 = 0$ (hình 8.6 ÷ hình 8.8). Để cho tiện dùng, các đường cong được vẽ trong tọa độ loga. Dùng các đồ thị này dễ dàng giải mọi bài toán tính kênh hở.

Thí dụ 1: Xác định độ sâu h của kênh và chiều rộng đáy b của nó trong những điều kiện sau đây: lưu lượng Q = 200 m^3/s; độ dốc i = 0,0004; hệ số mái dốc m = 1,5; hệ số nhám n = 0,02 và tỉ số $\beta = b/h = 10$.

Giải:

1- Tìm giá trị cần thiết của K_S:

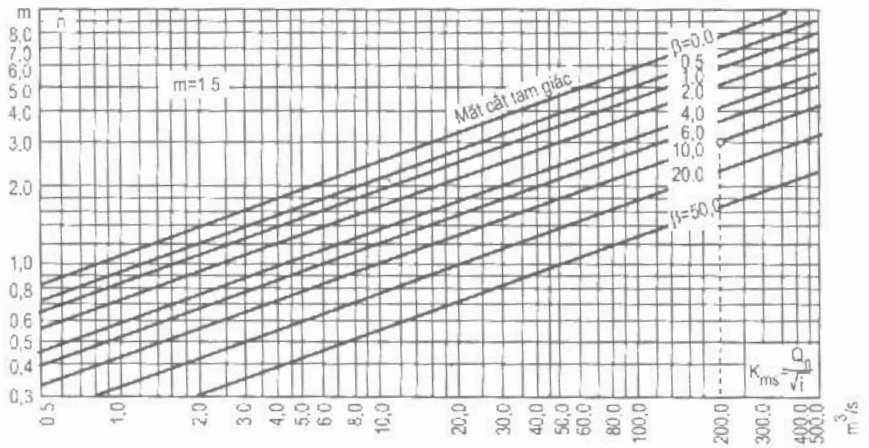
$$K_S = \frac{Qn}{\sqrt{i}} = \frac{200.0,02}{\sqrt{0,0004}} = 200 \ m^3/s$$

2- Theo đồ thị (hình 8.6) với $K_S = 200\ m^3/s$ và $\beta = 10$, tìm được độ sâu của kênh h = 3m.

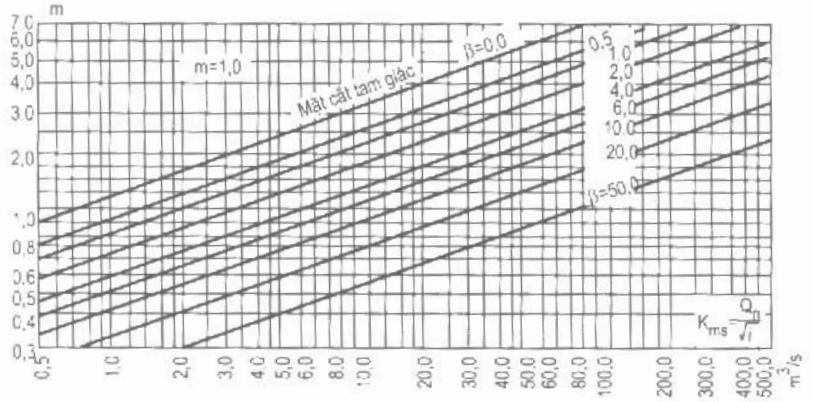
3- Khi đó chiều rộng của kênh $b = \beta h = 10.3 = 30m$.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 8.6: Đồ thị để tính kênh hở mặt cắt hình thang (theo phương pháp Jurin), m = 1,5



Hình 8.7: Đồ thị để tính kênh hở hình thang (theo phương pháp Jurin), m = 1,0

Thí dụ 2: Xác định chiều sâu h khi cho Q = 20 m^3/s, b = 10m, m = 1,5; i = 0,0004 và n = 0,03.

Giải:

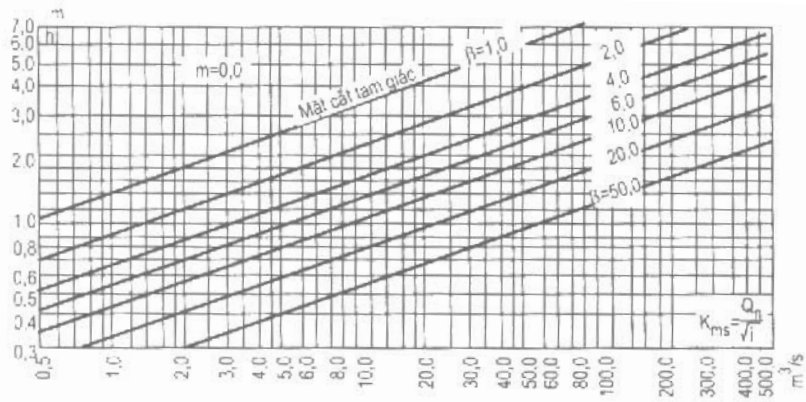
1- Tìm $$K_S = \frac{20.0,03}{\sqrt{0,0004}} = 30 \quad m^3/s$$

2- Theo đồ thị (hình 8.6) đối với $K_S = 30$ tìm được, với h = 2m, tỉ số β = 4,5; do đó b = βh = 4,5.2 = 9m; khi h = 1,8m tỉ số β = 6, do đó b = 6.1,8 = 10,8m; với h = 1,85m tỉ số β = 5,5, do đó b = 5,5.1,85 = 10,2m.

Bởi vì b = 10,2 ≈ 10m nên có thể chọn độ sâu cần tìm là h = 1,85m.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 8.8: Đồ thị để tính kênh hở hình thang (theo phương pháp Jurin), m = 0,0

Thí dụ 3: Xác định chiều rộng đáy b của kênh, khi cho Q = 100 m^3/s, i = 0,0004, n = 0,02, m = 1,5 và h = 3m.

Giải:

1- Tính : $$K_S = \frac{Qn}{\sqrt{i}} = 100 \quad m^3/s$$

2- Khi đó theo đồ thị (hình 8.6) tìm được, với K_s = 100 m^3/s và h = 3m tỉ số $\beta = b/h = 5$. Do đó chiều rộng cần tìm $b = \beta h = 5.3 = 15m$.

5. *Phương pháp Argôxkin I. I* (Phương pháp mô hình trừu tượng)

Mô hình trừu tượng là một kênh tương tự với kênh cần tính về hình học nhưng có độ dốc i = 1, hệ số nhám n = 1 và ngoài ra hoặc là bề rộng đáy b_m = 1m (trong trường hợp cần xác định chiều sâu h của kênh) hoặc ngược lại h_m = 1m (trong trường hợp cần xác định chiều rộng đáy kênh b).

Tỉ lệ xích của mô hình luôn luôn cho trước bằng $\lambda = 6$ (trong bài toán thứ nhất, khi chưa biết h) hoặc $\lambda = h$ (trong trường hợp cần xác định b).

Rõ ràng là, nếu muốn xác định chiều sâu h của kênh (khi cho trước Q, i và b), ta phải tính kênh mô hình và tìm được chiều sâu h_m của nó, chiều sâu của kênh tự nhiên được xác định theo công thức:

$$h = \lambda . h_m \qquad (8\text{-}15)$$

trong đó: $$\lambda = \frac{b}{b_m} = \frac{b}{1} = b \qquad (8\text{-}16)$$

Tương tự có thể xác định được chiều rộng kênh: $b = \lambda b_m$, trong đó:

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$\lambda = \frac{h}{h_m} = \frac{h}{l} = h \qquad (8\text{-}17)$$

Để tính toán mô hình, cần tìm được lưu lượng tính toán của mô hình. Theo I. I. Agrôxkin khi giải bài toán xác định chiều sâu của kênh, lưu lượng của mô hình sẽ bằng:

$$Q_m = \frac{Qn}{\sqrt{i}b^{2,7}} \qquad (8\text{-}18)$$

còn khi giải bài toán về xác định chiều rộng kênh, lưu lượng mô hình bằng:

$$Q_m = \frac{Qn}{\sqrt{i}h^{2,7}} \qquad (8\text{-}19)$$

Các công thức (8-18) và (8-19) được cho với $C = \frac{1}{n}R^{0,2}$.

Tiếp sau đó I. I. Agrôxkin đã đề nghị một công thức mới cho hệ số C và hệ số bổ sung σ:

$$Q = \omega \frac{1}{\sigma}\frac{1}{n}R^y\sqrt{Ri} \qquad (8\text{-}20)$$

hệ số σ phụ thuộc vào y và R.

Trình tự tính toán theo Agrôxkin cho hai bài toán là khác nhau.

Bài toán 1. Xác định chiều sâu h của nước trong kênh ứng với lưu lượng Q, với chiều rộng đáy b, m, n và i cho trước.

Giải:

Lấy $C = \frac{1}{\sigma}\frac{1}{n}R^y$ và kí hiệu η = h/b, từ công thức (8-20) ta được:

$$\frac{\sigma Qn}{b^{2,7}\sqrt{i}} = \frac{(\eta + m\eta^2)^{1,7}}{\left(1 + \eta\sqrt{1+m^2}\right)^{0,7}} \qquad (8\text{-}21)$$

hay lấy lôga:

$$\log Q + \log b^{-2,7} + \lg\frac{n}{\sqrt{i}} + \lg\sigma = \lg\frac{(\eta + m\eta^2)^{1,7}}{\left(1 + \eta\sqrt{1+m^2}\right)^{0,7}} \qquad (8\text{-}21a)$$

Sử dụng các kí hiệu:

$$\lg b^{-2,7} = M_b$$

$$\lg n/\sqrt{i} = N$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$\lg \frac{(\eta = m\eta^2)^{1,7}}{(1 + \eta\sqrt{1+m^2})^{0,7}} = -\psi(\eta)^{(1)}$$

sau đó thay vào (8-21a), ta sẽ được công thức tính toán cơ bản

$$\psi(\eta) = -(\lg Q + M_b + N + \lg\sigma) \qquad (8\text{-}22)$$

Các giá trị M_b và N có thể tìm tương ứng trong bảng 8.9 và 8.10; logQ - tìm được bằng cách lấy lôga của lưu lượng đã cho.

Bảng 8.9. Các giá trị của $M_b = lgb^{-2,7}$ hoặc $M_h = lgh^{-2,7}$ phụ thuộc vào b hoặc h

b, m (hoặc h, m)	$lgb^{-2,7}$ (hoặc $lgh^{-2,7}$)	b, m (hoặc h, m)	$lgb^{-2,7}$ (hoặc $lgh^{-2,7}$)	b, m (hoặc h, m)	$lgb^{-2,7}$ (hoặc $lgh^{-2,7}$)
0,10	2,7000	0,80	0,2617	2,50	$\bar{2}$,9256
0,12	2,4862	0,90	0,1236	2,60	8796
0,14	2,3053	1,00	0,0000	2,70	8353
0,16	2,1489	1,10	$\bar{1}$,8883	2,80	7927
0,18	2,0108	1,20	7862	2,90	7515
0,20	1,8872	1,30	6924	3,00	$\bar{2}$,7118
0,22	1,7755	1,40	6050	3,10	6733
0,24	1,6734	1,50	$\bar{1}$,5246	3,20	6361
0,26	1,5796	1,60	4489	3,30	6000
0,28	1,4927	1,70	3778	3,40	5650
0,30	1,4118	1,80	3100	3,50	2,5310
0,35	1,2316	1,90	2474	3,60	4980
0,40	1,0744	2,00	$\bar{1}$,1872	3,70	4659
0,45	0,9366	2,10	1300	3,80	4346
0,50	0,8128	2,20	0,755	3,90	4041
0,60	0,5990	2,30	0233	4,00	$\bar{2}$,3744
0,70	0,4183	2,40	$\bar{2}$.0734		

(1) Dấu trừ được I. I. Agrôxkin đưa vào có liên quan đến việc là trong bảng do ông lập ra trước đó đã cho các giá trị của $\lg \frac{\left(1 + \eta\sqrt{1+m^2}\right)^{0,7}}{(\eta + m\eta^2)^{1,7}}$.

https://tieulun.hopto.org

Bảng 8.10. Giá trị của $N = \lg\frac{n}{\sqrt{i}}$ phụ thuộc vào giá trị của hệ số nhám n và độ dốc i

	n								
	0,010	0,012	0,014	0,017	0,020	0,0225	0,025	0,0275	0,030
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*
0,00002	0,3495	0,4287	0,4956	0,5799	0,6505	0,7017	0,7474	0,7888	0,8266
4	1990	2781	3451	4294	5000	5511	5969	6383	6761
6	1109	1901	2570	3414	4119	4631	5089	5503	5880
8	0484	1276	1946	2789	3495	4006	4464	4878	5256
0,00010	0000	0,0792	1461	2304	3010	3522	3979	4393	4771
0,00012	$\bar{1}$,9604	0,0396	0,1065	0,1909	0,2614	0,3126	0,3583	0,3997	0,4375
14	9269	0,0061	0731	1574	2280	2781	3248	3663	4041
16	8972	$\bar{1}$,9771	0441	1284	1990	2501	2859	3373	3751
18	8724	9515	0185	1028	1734	2245	2703	3117	3495
20	8497	9229	$\bar{1}$,9956	0799	1505	2017	2474	2888	3266
0,00022	$\bar{1}$,8288	$\bar{1}$,9080	1,9749	0,0592	0,1298	0,1810	0,2267	0,2621	0,3059
24	8099	8891	9560	0403	1109	1621	2073	2492	2870
26	7925	8717	9386	0230	0935	1447	1904	2313	2696
28	7764	8556	9225	0069	0774	1286	1744	2157	2535
30	7614	8406	9076	$\bar{1}$,9918	0625	1036	1594	2008	2396
0,00032	$\bar{1}$,7474	$\bar{1}$,8266	$\bar{1}$,8935	$\bar{1}$,9779	0,0485	0,0996	0,1454	0,1868	0,2245
34	7343	8134	8804	9647	0353	0846	1322	1736	2114
36	7218	8010	8680	9523	0229	0714	1198	1612	1990
38	7101	7893	8562	9405	0111	0623	1080	1494	1872
40	6990	7781	8451	9294	0000	0511	0969	1383	1761

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,00042	1,6884	$\bar{1}$,7676	$\bar{1}$,8345	$\bar{1}$,9188	$\bar{1}$,9894	0,0406	0,0863	0,1277	0,1655
44	6783	7574	8244	9087	9793	0305	0762	1176	1554
46	6686	7478	8147	8991	9696	0208	0666	1079	1457
48	6593	7385	8055	8878	9604	0115	0573	0987	1364
50	6505	7297	7966	8810	9515	0027	0484	0898	1276
0,00052	$\bar{1}$,6420	$\bar{1}$,7212	$\bar{1}$,7881	1,8724	$\bar{1}$,9430	$\bar{1}$,9942	0,0399	0,0819	0,1191
54	6338	7130	7799	8642	9348	9860	0317	0731	1108
56	6259	7051	7720	8563	9269	9781	0237	0652	1030
58	6183	6975	7644	8487	9193	9705	0162	0576	0954
60	6109	6901	7570	8414	9119	9631	0089	0503	0880
0,00062	$\bar{1}$,6038	$\bar{1}$,6830	$\bar{1}$,7499	$\bar{1}$,8342	$\bar{1}$,9048	$\bar{1}$,9560	0,0017	0,0431	0,0809
64	5969	6761	7430	8274	8979	9491	$\bar{1}$,9948	0362	0740
66	5902	6694	7364	8207	8913	9424	9882	0296	0674
68	5837	6629	7299	8142	8848	9359	9817	0231	0609
70	5774	6566	7236	8079	8785	9296	8754	0168	0546
0,00072	$\bar{1}$,5713	$\bar{1}$,6505	$\bar{1}$,7175	$\bar{1}$,8018	$\bar{1}$,8724	$\bar{1}$,9235	$\bar{1}$,9693	0,0107	0,0484
74	5654	6446	7115	7958	8664	9176	9633	0047	0425
76	5596	6388	7057	7900	8606	9118	9575	$\bar{1}$,9989	0367
78	5540	6331	7001	7844	8550	9061	9519	9933	0311
80	5484	6276	6945	7788	8494	9006	9463	9877	0255
0,00082	$\bar{1}$,5431	$\bar{1}$,6223	$\bar{1}$,6892	$\bar{1}$,7735	$\bar{1}$,8444	$\bar{1}$,8953	$\bar{1}$,9410	$\bar{1}$,9824	0,0202
84	5379	6170	6840	7683	8389	8900	9358	9772	0150
86	5328	6120	6789	7632	8338	8850	9307	9721	0099
88	5278	6069	6739	7582	8288	8699	9257	9671	0049
90	5229	6220	6690	7533	8239	8751	9208	9622	0000

www.thuvien247.net

https://tieulun.hopto.org

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,00092	1,5181	$\bar{1}$,5973	$\bar{1}$,6642	$\bar{1}$,7485	$\bar{1}$,8191	$\bar{1}$,8703	$\bar{1}$,9160	$\bar{1}$,9574	$\bar{1}$,9952
94	5134	5926	6596	7439	8145	8656	9114	9528	9906
96	5089	5880	6550	7393	8099	8610	9068	9482	9860
98	5044	5836	6505	7348	8054	8566	9023	9437	9815
0,00100	5000	5792	6461	7304	8010	8522	8979	9393	9771
0,0015	$\bar{1}$,4119	$\bar{1}$,4911	$\bar{1}$,5581	$\bar{1}$,6424	$\bar{1}$,7130	$\bar{1}$,7641	$\bar{1}$,8099	$\bar{1}$,8513	$\bar{1}$,8891
20	3495	4287	4956	5499	6505	7017	7474	7888	8266
25	3010	3802	4471	5315	6021	6532	6990	7404	7781
30	2614	3406	4076	4919	5625	6136	6594	7007	7386
35	2250	3071	3741	4514	5290	5801	6259	6573	7051
0,0040	$\bar{1}$,1990	$\bar{1}$,2781	$\bar{1}$,3451	$\bar{1}$,4294	$\bar{1}$,5000	$\bar{1}$,5511	1,5868	$\bar{1}$,6383	$\bar{1}$,6761
45	1734	2526	3195	4038	4744	5256	5713	6127	6505
50	1505	2297	2966	3810	4515	5027	5484	5898	6170
55	1298	2090	2759	3603	4308	4820	5278	5691	6069
60	1109	1901	2570	3414	4120	4631	5088	5503	5880
0,0065	$\bar{1}$,0935	$\bar{1}$,1727	$\bar{1}$,2397	$\bar{1}$,3240	$\bar{1}$,3946	$\bar{1}$,4457	$\bar{1}$,4815	$\bar{1}$,5329	$\bar{1}$,5707
70	0774	1566	2236	3079	3785	4296	4754	5168	5546
75	0625	1416	2086	2929	3635	4146	4604	5018	5396
80	0484	1276	1946	2789	3495	4006	4464	4878	5256
90	0229	1021	1690	2533	3239	3751	4208	4622	5000
0,0100	$\bar{1}$,0000	$\bar{1}$,0792	$\bar{1}$,1461	$\bar{1}$,2304	$\bar{1}$,3010	$\bar{1}$,3522	$\bar{1}$,3979	$\bar{1}$,4393	$\bar{1}$,4771
200	$\bar{2}$,8495	$\bar{2}$,9287	$\bar{2}$,9956	0799	1505	2014	2474	2888	3266
400	6990	7781	8451	$\bar{2}$,9294	$\bar{1}$,0000	0511	0969	1083	1761
600	6109	6901	7570	8414	$\bar{2}$,9119	$\bar{2}$,9631	0089	0503	0880
800	5484	6276	6946	7789	8495	9009	$\bar{2}$,9464	2,9878	0256
0,1000	2,5000	$\bar{2}$,5792	$\bar{2}$,6461	$\bar{2}$,7304	$\bar{2}$,8010	$\bar{2}$,8522	2,8979	2,9393	$\bar{2}$,9773

www.thuvien247.net

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Khi biết bán kính thủy lực, có thể xác định lôga của hệ số hiệu chỉnh σ theo bảng 8.11.

Bảng 8.11. Các giá trị số lg σ phụ thuộc vào trị số của bán kính thủy lực R để xác định độ sâu của kênh (hoặc chiều rộng b) theo phương pháp I. I. Agrôxkin ứng với các hệ số nhám n khác nhau (hoặc là K trong công thức 4-33)

R, m	n = 0,012	n = 0,020	n = 0,025	n = 0,030
	K = 4,7	K = 2,8	K = 2,25	K = 1,90
0,10	- 0,096	- 0,010	0,054	0,129
0,50	- 0,032	- 0,011	0,002	0,016
1,00	0,000	0,000	0,000	0,000
1,50	0,019	0,009	0,003	- 0,004
2,00	0,033	0,016	0,006	- 0,004
2,50	0,044	0,022	0,009	- 0,004
3,00	0,053	0,028	0,012	- 0,003
3,50	0,061	0,032	0,015	- 0,002
4,0	0,048	0,036	0,018	- 0,001
4,5	0,074	0,040	0,020	0,001
5,0	0,080	0,044	0,023	0,003
6,0	0,089	0,050	0,027	0,005
7,0	0,097	0,055	0,031	0,008
8,0	0,104	0,060	0,034	0,010
9,0	0,114	0,064	0,038	0,013
10,0	0,116	0,068	0,041	0,015

Bằng cách đó, sau khi tìm được các giá trị của ψ (η), theo bảng 8.12 ta tìm được đại lượng η = h/b, sau đó xác định độ sâu của kênh cần tìm theo công thức h = ηb.

Bảng 8.12. Các giá trị của hàm φ (η) ứng với các hệ số mái dốc m khác nhau

$\eta = \frac{h}{b}$	m					
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*
0,00	-	-	-	-	-	-
0,02	+ 2,900	+ 4,894	+ 2,891	+ 2,888	+ 2,885	+ 2,881
0,04	400	388	380	373	370	361
0,06	112	091	082	073	066	053

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

1	2	3	4	5	6	7
0,08	+ 1,910	+ 1,887	+ 1870	+ 1,857	+ 1,843	+ 1,830
0,10	+ 1,755	+ 1,725	+ 1,705	+ 1,690	+ 1,678	+ 1,655
15	480	436	405	382	363	329
20	290	230	190	159	134	090
30	032	0,965	0,882	0,837	0,800	0,738
40	0,855	736	652	602	554	478
0,50	0,722	0,575	0,480	0,413	0,357	0,269
60	617	442	332	254	191	094
70	529	328	203	117	048	- 0,058
80	455	228	090	- 0,004	- 0,078	191
90	391	139	- 0,011	113	192	310
1,00	0,334	+ 0,057	- 0,104	- 0,210	- 0,295	- 0,419
1,10	283	- 0,017	188	300	400	517
1,20	237	026	207	384	473	608
1,30	198	150	340	461	553	692
1,40	157	210	408	534	626	770
1,50	0,122	- 0,266	- 0,472	- 0,602	- 0,698	- 0,844

Trong thực tế, việc tính toán được tiến hành bằng hai bước. Trong bước gần đúng thứ nhất ta đặt lgσ = 0 rồi xác định giá trị hàm ψ(η) theo công thức (8-22), sau đó giá trị η (theo bảng 8.12). Sau đó, cũng trong bước gần đúng thứ nhất ta tìm độ sâu cần tìm h = ηb. Khi biết h, tìm được bán kính thủy lực R theo bảng 8.13 hoặc bằng tính toán trực tiếp $R = \frac{(b + mh)h}{b + 2h\sqrt{1 + m^2}}$, rồi sau đó theo R tìm được trị số lgσ (theo bảng 8.11). Điều đó cho phép xác định giá trị chính xác của hàm ψ(η) và tiếp đó là giá trị chính xác của độ sâu h cần tìm.

Bảng 8.13. Các giá trị $\eta_R = \frac{h}{R}$; $\beta_R = \frac{b}{R}$ và $\eta = \frac{h}{b}$ phụ thuộc vào trị số $\beta = \frac{b}{h}$ đối với hệ số mái dốc m = 1 và m = 0

$\beta = \frac{b}{h}$	m = 1			m = 0		
	$\eta_R = \frac{h}{R}$	$\beta_R = \frac{b}{R}$	$\eta = \frac{h}{b}$	$\eta_R = \frac{h}{R}$	$\beta_R = \frac{b}{R}$	$\eta = \frac{h}{b}$
1	2	3	4	5	6	7
0,10	2,662	0,266	10,00	-	-	-
0,20	2,524	0,505	5,00	-	-	-
0,30	2,406	0,722	3,33	-	-	-
0,40	2,306	0,922	2,50	-	-	-
0,50	2,219	1,109	2,00	-	-	-

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

1	2	3	4	5	6	7
0,60	2,143	1,286	1,667	-	-	-
0,70	2,076	1,453	1,429	-	-	-
0,80	2,016	1,413	1,250	-	-	-
0,90	1,962	1,766	1,110	-	-	-
1,00	1,914	1,914	1,000	3,00	3,00	1,00
1,50	1,731	2,597	0,667	2,333	3,50	0,667
2,00	1,610	3,219	0,500	2,000	4,00	0,500
2,50	1,522	3,806	0,400	1,800	4,50	0,400
3,00	1,457	4,371	0,333	1,667	5,00	0,333
3,50	1,406	4,922	0,286	1,571	5,50	0,286
4,00	1,366	5,463	0,25	1,500	6,00	0,250
5,00	1,306	6,524	0,20	1,400	7,00	0,200
6,00	1,261	7,567	0,167	1,333	8,00	0,167
7,00	1,229	8,600	0,143	1,286	9,00	0,193
8,00	1,203	9,626	0,125	1,125	10,00	0,125
9,00	1,183	10,645	0,111	1,222	10,00	0,111
10,00	1,166	11,662	0,100	1,200	12,00	0,100
12,00	1,141	13,637	0,0834	1,167	14,00	0,0834
15,00	1,114	16,716	0,0666	1,133	17,00	0,0666
20,00	1,087	21,742	0,0500	1,100	22,00	0,050

Thí dụ:[1] Xác định chiều sâu h trong kênh với mặt cắt hình thang có chiều rộng đáy b = 2m; hệ số mái dốc m = 1: độ dốc i = 0,0008 và hệ số nhám n = 0,014 (K = 1); lưu lượng Q = 3 m^3/s.

Giải:

1- Sử dụng bảng 8.9 và 8.10, tìm được $M_b = \bar{1},1872$ và $N = \bar{1},6945$.

Lấy lôga sẽ được lgQ = 0,477:

$$\psi(\eta) = -(0,477 + \bar{1},1872 + \bar{1},6945) = 0,641$$

Theo bảng 8.12, bằng cách nội suy ta tìm được $\eta = h.b = 0,42$ tương ứng với giá trị $\psi(\eta)$ đó.

2- Khi đó độ sâu trong kênh trong bước gần đúng thứ nhất sẽ bằng:

$$h = \eta b = 0,42.2 = 0,84m$$

---

[1] Lấy từ sách I. I. Agrôxkin và các tác giả khác. Thủy lực NXB Năng lượng quốc gia, 1950.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

3- Để có lời giải chính xác hơn, ta tìm giá trị của bán kính thủy lực. Theo bảng 8.13, tìm được $\beta_R = b/R$; Khi đó $R = \frac{b}{\beta_R} = \frac{2}{3,68} = 0,543m$. Sau khi biết R, theo bảng 8.11, tìm được $lg\sigma = -0,023$.

4- Chú ý đến hệ số sửa chữa này, ta được giá trị chính xác hơn của $\psi(\eta)$, cụ thể là

$$\psi(\eta) = 0,641 + 0,023 = 0,664$$

Khi đó (theo bảng 8.12) ta được giá trị chính xác hơn $\eta \approx 0,40$.

5- Từ đó, giá trị chính xác của độ sâu ngập nước cần tìm của kênh sẽ là:

$$h = \eta b = 0,4.2 = 0,8m$$

Bài toán 2. Xác định chiều rộng đáy b của kênh hình thang đối với lưu lượng Q khi cho trước m, i, n và chiều sâu h.

Giải: Lấy y = 0,2 từ công thức (8-20) ta được:

$$\frac{\sigma Qn}{\sqrt{i}\,h^{2,7}} = \frac{(\beta+m)^{1,7}}{\left(\beta+2\sqrt{1+m^2}\right)^{0,7}} = f(\beta) \qquad (8\text{-}23)$$

trong đó: $\beta = b/h$;

σ - cũng như trước, là hệ số sửa chữa đặc biệt đối với công thức C của I. I Agrôxkin.

Khi lấy lôga ta được:

$$lg\,\sigma + lg\,Q + lg\,h^{-2,7} + lg\frac{n}{\sqrt{i}} = lg\frac{(\beta+m)^{1,7}}{\left(\beta+2\sqrt{1+m^2}\right)^{0,7}}$$

Để cho gọn, ta kí hiệu:

$$lg\,h^{-2,7} = M_h;\quad lg\frac{n}{\sqrt{i}} = N$$

$$lg\frac{(\beta+m)^{1,7}}{\left(\beta+2\sqrt{1+m^2}\right)^{0,7}} = F(\beta)$$

và được công thức tính toán cơ bản:

$$F(\beta) = lgQ + M_h + N + lg\sigma \qquad (8\text{-}24)$$

Các giá trị của M, N và F(β) đã cho tương ứng trong các bảng 8.9, 8.10 và 8.14.

Đại lượng này quyết định giá trị của chiều rộng b cần tìm trong bước gần đúng thứ nhất: $b = \beta h$. Sau đó, để giải chính xác hơn, ta tìm trị số bán kính thủy lực R bằng cách sử dụng bảng 8.13 hoặc tính theo công thức thông thường, giá trị lgσ tìm theo bán kính R (theo bảng 8.11). Theo giá trị đã làm chính xác hóa

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$F(\beta) = lgQ + M_h + N + lg\sigma$, tìm được giá trị làm chính xác hóa của β bằng cách sử dụng bảng 8.14 và cuối cùng tìm được giá trị chính xác của chiều rộng kênh $b = \beta h$.

Bảng 8.14. Các giá trị của hàm F(β) với các hệ số mái dốc m khác nhau

$\beta = \frac{b}{h}$	m					
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*
0,00		1,2436	1,6840	1,9094	0,0564	0,2504
20	2,5721	4760	7978	9854	1135	2886
40	1,0675	6275	8922	0,0520	1650	3241
60	3324	7535	9725	1111	2118	3574
80	5223	8561	0,0422	1641	2548	3887
1,00	6660	9423	1037	0,2122	2944	4181
20	7810	0,0165	1586	2561	3311	4460
40	8764	0815	2197	2964	3654	4723
60	9576	1391	2531	3338	3974	4974
80	0,0281	1908	2944	3685	4275	5212
2,00	0903	2376	3325	4009	4558	5440
20	1458	2804	3678	4312	4825	5657
40	1959	3198	4007	4598	5079	5865
60	2410	3562	4315	4868	5320	6065
80	2833	4900	4604	5123	5550	6257
3,00	3218	4216	4876	5365	5768	6441
20	3576	4522	5132	5596	5978	6619
40	3909	4791	5378	5815	6178	6790
60	4220	5055	5610	6025	6370	6955
80	4518	5304	5831	6226	6555	7115
4,00	4788	5540	6042	6418	6733	7270
20	5049	5765	6244	6603	6904	7419
40	5295	5980	6480	6781	7069	7564
60	5530	6185	6623	6952	7228	7705
80	5754	6382	6801	7117	7382	7842
5,00	0,5967	0,6570	0,6973	0,7276	0,7532	0,7974
20	6171	6750	6138	7430	7676	8103
40	6366	6924	7298	7579	7816	8229
60	6554	7092	7452	7723	7952	8351
80	6732	7254	7601	7863	8084	8470
6,00	6907	7410	7746	7998	8212	8587
20	7074	7560	7886	8130	8337	8700
40	7235	7706	8021	8258	8459	8811
60	7391	7848	8153	8382	8577	8919
80	7541	7985	8281	8503	8692	9024

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

1	2	3	4	5	6	7
7,00	7687	8118	8405	8621	8805	9127
20	7828	8247	8526	8736	8914	9228
40	7965	8372	8644	8848	9022	9327
60	8098	8495	8759	8958	9026	9424
80	8227	8616	8871	9064	9228	9518
8,00	8352	8729	8980	9169	9328	9611
20	8476	8842	9087	9270	9426	9702
40	8593	8962	9191	9370	9522	9791
60	8610	9060	9293	9468	9616	9878
80	8822	9165	9392	9563	9708	9964
9,00	8932	9267	9490	9656	9798	1,0048
20	9040	9367	9585	9748	9886	0131
40	9145	9465	9678	9837	9972	0212
60	9248	9561	9769	9925	1,0057	0292
80	9348	9655	9859	1,0011	0141	0370
10,00	0,9446	0,9742	0,9947	1,0096	1,0222	1,0447
50	9682	9968	1,0159	0300	0513	0634
11,00	9906	1,0180	0361	0498	0792	0814
50	1,0120	0381	0554	0683	1061	0986
12,00	0323	0574	0739	0863	1319	1152
50	0518	0758	0917	1035	1567	1313
13,00	0704	0936	1088	1201	1908	1467
50	0883	1106	1253	1362	2039	1617
14,00	1055	1270	1411	1516	2263	1761
50	1221	1428	1564	1665	2480	1902
15,00	1380	1581	1712	1810	2691	2037
50	1534	1723	1855	1949	2895	2169
16,00	1683	1871	1994	2085	3092	2297
50	1327	2009	2128	2216	3285	2422
17,00	1966	2143	2259	2344	3472	2543
50	2102	2273	2385	2468	3653	2661
18,00	2232	2399	2508	2589	3830	2775
50	2360	2522	2628	2706	4003	2887
19,00	2483	2641	2744	2820	4171	2996
50	2603	2851	2858	2932	4333	3103
20,00	2721	2870	2968	3040	4494	3207

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Thí dụ: Giả sử cần xác định chiều rộng b của kênh, khi chiều sâu h = 1,2m ứng với lưu lượng Q = 5 m^3/s, i = 0,0006; n = 0,025 (K = 2,25).

Giải:

1- Trong bước gần đúng thứ nhất tìm được:

$$F(\beta) = \lg 5 + \lg 1,2^{-2,7} + \lg \frac{0,025}{0,0006} = 0,699 + 1,7862 + 0,0089 = 0,494$$

Tiếp đó theo bảng 8.14, bằng cách nội suy ta tìm được, với $F(\beta) = 0,494$, $\beta = 3,06$.

2- Khi đó chiều rộng đáy của kênh phải tìm trong bước gần đúng thứ nhất sẽ bằng:

$$b = \beta h = 3,06.1,2 = 3,67 \approx 3,7m$$

Để làm chính xác giá trị của b, ta tìm bán kính thủy lực R (theo bảng 8.13), sau đó theo bảng 8.11 tìm $lg\sigma$[(1)].

3- Tiếp đó theo công thức (8-24) tìm giá trị làm chính xác của hàm $F(\beta)$, rồi sau đó bằng cách sử dụng bảng 8.14 ta xác định β theo hàm $F(\beta)$ và như ở bước gần đúng thứ nhất đã chỉ rõ $b = \beta h$.

Ghi chú: Trong nhiều trường hợp cả trong bài toán 1 và bài toán 2 có thể kết thúc việc tính toán ở bước gần đúng thứ nhất.

Đề nghị của P. G. Kixêlep: Việc xác định độ sâu h của kênh và chiều rộng đáy b của nó được tiến hành bằng hai đồ thị đặc trưng lưu lượng của kênh mô hình, tức là:

a) Đường cong $K'_m = f_1(h_m)$ (hình 8.9) của kênh mô hình với chiều rộng đáy b = 1m và được dùng để xác định độ sâu h_m của kênh;

b) Đồ thị $K'_m = f_2(b_m)$ (hình 8.10) của kênh mô hình với độ sâu h_m = 1m và được dùng để xác định chiều rộng đáy b_m của kênh.

Hệ số nhám của kênh mô hình lấy bằng đơn vị n = 1.

Bài toán 1. Xác định chiều sâu h của kênh theo lưu lượng Q cho trước, chiều rộng đáy b, hệ số mái dốc m, hệ số nhám n và độ dốc đáy i.

Giải:

Tính đặc trưng lưu lượng của kênh mô hình (tức là kênh tương tự hình học với kênh thiết kế nhưng có chiều rộng đáy $b_m = 1$ và hệ số nhám n = 1) theo công thức:

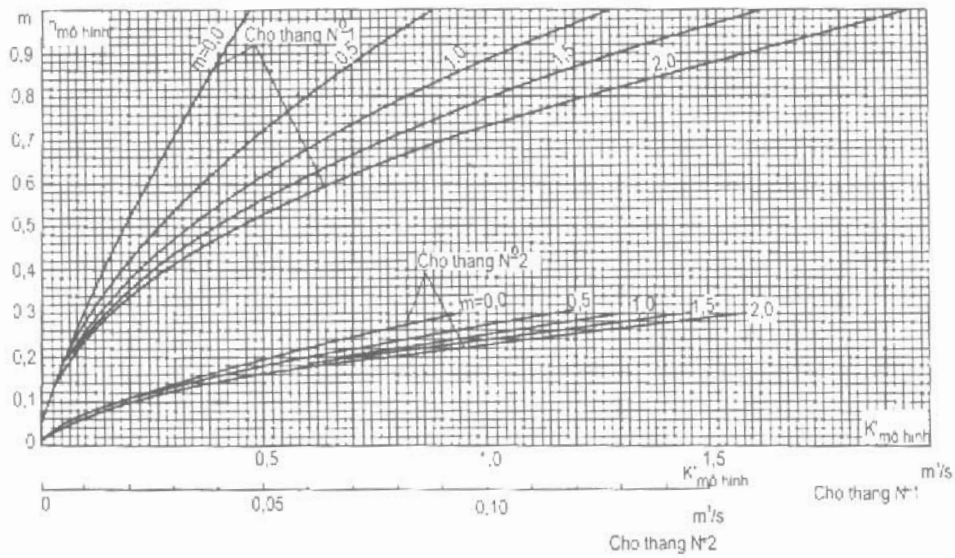
$$K_m = \frac{Kn}{b^{2,67}} = \frac{Qn}{\sqrt{i}\, b^{2,67}} \qquad (8\text{-}25)$$

---

(1) Trong ví dụ này R = 0,69m và $lg\sigma = 0,000$.

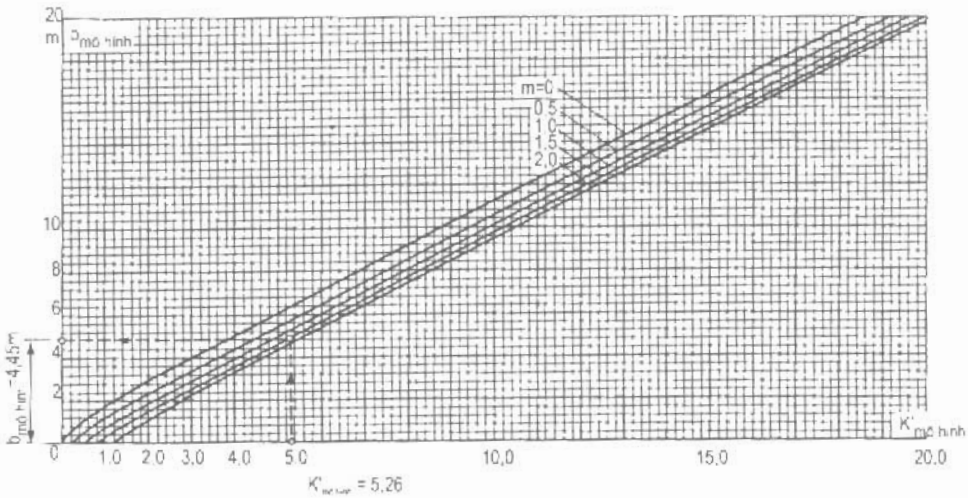
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 8.9: Đồ thị để xác định chiều sâu h_m của kênh hình thang có chiều rộng đáy b = 1m

$$K'_m = \frac{Kn}{b^{2,7}} = \frac{Qn}{b^{2,7}\sqrt{i}}$$



Hình 8.10: Đồ thị để xác định chiều rộng đáy b_m của kênh với h = 1m

$$K'_m = \frac{Kn}{h^{2,67}} = \frac{Qn}{h^{2,67}\sqrt{i}}$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Biết K_m, theo đồ thị (hình 8.9) của hàm $K_m = f(h_m)$ tìm được h_m độ sâu của kênh mô hình bằng cách sử dụng đường cong với hệ số mái dốc m đã cho trên đồ thị đó.

Tiếp đó xác định độ sâu thiết kế cần tìm của kênh theo công thức (8-26) (phù hợp với điều kiện tương tự về hình học):

$$h = h_m b \qquad (8\text{-}26)$$

trong đó: b - chiều rộng đáy kênh đã biết theo bài toán.

Thí dụ: Cho lưu lượng kênh Q = 20 m^3/s độ dốc i = 0,0004; hệ số mái dốc m = 1; hệ số nhám n = 0,025 và chiều rộng đáy kênh b = 5m. Xác định độ sâu h của kênh.

Giải:

1- Dùng công thức (8-25) xác định đặc trưng lưu lượng của kênh mô hình

$$K_m = \frac{Qn}{\sqrt{i}b^{2,67}} = \frac{20.0,25}{\sqrt{0,0004}.5^{2,67}} = 0,342$$

2- Theo hình 8.9, theo đường cong đối với hệ số mái dốc m = 1 tìm được, với $K_m = 0,342$, chiều sâu của kênh mô hình là $h = 0,505 \approx 0,5m$.

3- Khi đó độ sâu của kênh cần tìm sẽ là $h = h_m.b = 0,5.5 = 2,5m$.

Bài toán 2. Xác định chiều rộng kênh b khi cho biết Q, i và h.

Trong trường hợp này cần sử dụng đồ thị $K_m = f_2(b_m)$ (hình 8.10.). Trình tự tính toán sẽ giống như trong bài toán 1.

Giải: Tính đặc trưng lưu lượng của kênh mô hình (cũng như trường hợp thứ nhất, kênh đó tương tự về hình học với kênh thiết kế nhưng có hệ số nhám n = 1 và chiều sâu $h_m = 1m$):

$$K_m = \frac{Qn}{\sqrt{i}h^{2,67}} \qquad (8\text{-}27)$$

Sau đó theo đồ thị hình 8.10, với hệ số mái dốc m cho trước, tính giá trị của chiều rộng đáy b_m của kênh mô hình.

Khi đó, theo b_m tìm được chiều rộng đáy b cần tìm của kênh theo công thức:

$$b = b_m h \qquad (8\text{-}28)$$

trong đó: h - chiều sâu của kênh là đại lượng đã biết theo bài toán đặt ra.

Thí dụ: Cho lưu lượng kênh Q = 50 m^3/s, độ dốc i = 0,0004; chiều sâu h = 2,5m; hệ số mái dốc m = 1,5; hệ số nhám n = 0,025. Hãy xác định chiều rộng đáy b của kênh.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Giải:

1- Tìm đối với kênh mô hình:

$$K_m = \frac{Qn}{\sqrt{i}h^{2,67}} = \frac{50.0,025}{\sqrt{0,0004}.2,5^{2,67}} = 5,4$$

2- Theo hình 8.10, đối với m = 1,5 và đặc trưng lưu lượng 5,4 tìm được chiều rộng của kênh mô hình, b_m = 5m.

3- Khi đó chiều rộng đáy b của kênh cần tìm là $b = b_m h = 5.2,5 \approx 12,5$m.

b) Xác định chiều sâu h và chiều rộng đáy b khi biết β = b/h, Q và i

Bài toán được giải trực tiếp (không thử dần) bằng tính toán nếu như trong công thức $C = \frac{1}{n}R^y$, lấy y = const. Trong trường hợp này phương trình Sêzi sẽ quy về dạng lôgarit. Với y = 0,2 đối với kênh hình thang ta được:

$$Q = \frac{(\beta + m)^{,7}}{\left(\beta + 2\sqrt{1+m^2}\right)^{0,7}} \frac{\sqrt{i}}{n} h^{2,7} = A\frac{\sqrt{i}}{n}h^{2,7} \qquad (8\text{-}29)$$

hoặc là với y = 0,17

$$Q = \frac{(\beta + m)^{1,67}}{\left(\beta + 2\sqrt{1+m^2}\right)^{0,67}} \frac{\sqrt{i}}{n} h^{2,67} = A\frac{\sqrt{i}}{n}h^{2,67} \qquad (8\text{-}30)$$

từ đó, lấy lôga, tìm được chiều sâu h, sau đó chiều rộng b sẽ được xác định theo công thức

$$b = \beta h \qquad (8\text{-}31)$$

Bảng 8.15. Giá trị của thừa số $A = \frac{(\beta + m)^{1,7}}{\left(\beta + 2\sqrt{1+m^2}\right)^{0,7}}$

β	m					
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0
0,5	0,16	0,49	0,86	0,20	1,55	2,19
1,0	0,46	0,88	1,27	1,63	1,97	2,62
2,0	1,23	1,73	2,15	2,54	2,86	3,50
4,0	3,01	3,53	4,05	4,40	4,71	5,24
6,0	4,91	5,51	5,95	6,30	6,63	7,24
10,0	8,80	9,44	9,87	10,23	10,52	11,07

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

c) Xác định chiều sâu h và chiều rộng đáy b khi cho trước Q, i và vận tốc v

Các điều kiện đặt ra (Q, v và i cho trước) có thể không tương thích và khi đó sẽ không tồn tại lời giải.

Ta kiểm tra khả năng giải.

Bán kính thủy lực R lớn nhất có thể có đối với diện tích $\omega = Q/v$ là:

$$R_{max} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{Q}{v(2\sqrt{1+m^2}-m)}} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{Q}{va}}$$

trong đó: $a = 2\sqrt{1+m^2} - m$.

Bán kính thủy lực cần thiết (từ $v = C\sqrt{Ri}$) khi cho trước v và i bằng:

$$R_{tìm} = \left(\frac{vn}{\sqrt{i}}\right)^{\frac{1}{y+0,5}}$$

Nếu đối với $\omega = Q/v$, $R_{tìm} > R_{max}$, thì không tồn tại lời giải, trong trường hợp ngược lại ($R_{tìm} < R_{max}$) tìm được h và b theo trình tự sau đây:

1. Xác định chiều sâu cần tìm h từ phương trình bậc hai

$$h^2 - \frac{\chi}{a}h + \frac{\omega}{a} = 0$$

trong đó: $a = 2\sqrt{1+m^2} - m$

$$\chi = \frac{\omega}{R} = \frac{Q}{v\left(\frac{vn}{\sqrt{i}}\right)^{\frac{1}{y+0,5}}}$$

Ở đây h có hai nghiệm dương. Ta chọn chiều sâu nào tốt hơn theo quan điểm công nghệ - thường chọn h nhỏ hơn.

2. Tính chiều rộng đáy b theo công thức $b = \frac{\omega}{h} - mh$.

d) Tính kênh có mặt cắt lợi nhất về thủy lực

Mặt cắt có lợi nhất về thủy lực là mặt cắt có lưu lượng Q lớn nhất khi cho trước diện tích mặt cắt ướt ω và độ dốc i.

Đối với kênh hình thang có mặt cắt lợi nhất về thủy lực, tỉ số $\beta_{lnh} = b/h$ xác định theo công thức:

$$b_{lnh} = 2(\sqrt{1+m^2} - m)$$

Trị số bằng số của b_{lnh} ghi trong bảng 8.16.

Ghi chú: Mặt cắt có lợi nhất về thủy lực không phải luôn luôn là mặt cắt có lợi nhất về kinh tế. Chỉ trong trường hợp có lớp áo phủ ở đáy và mái kênh đắt tiền thì nó mới là mặt cắt có lợi về kinh tế vì khi đo mặt cắt kênh có chu vi ướt là nhỏ nhất.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 8.16. Trị số $b_{lnh} = \frac{b}{h}$ đối với mặt cắt có lợi nhất về thủy lực của kênh hình thang

m	β	m	β	m	β	m	β
0,00	2,00	0,25	1,562	1,00	0,828	2,00	0,472
0,10	1,81	0,50	1,236	1,25	0,702	2,50	0,385
0,20	1,64	0,75	1,000	1,50	0,606	3,00	0,325

Các tính chất của mặt cắt có lợi nhất về thủy lực:

a) Khi diện tích mặt cắt ω, độ dốc i và độ nhám đã cho trước, thì lưu lượng kênh Q và vận tốc trung bình của dòng chảy sẽ lớn nhất, bán kính thủy lực R cũng sẽ là lớn nhất, còn chu vi ướt χ sẽ là nhỏ nhất.

Bán kính thủy lực của kênh hình thang trong trường hợp này bằng: $R_{lnh} = h/2$, tức bằng một nửa chiều sâu của kênh.

b) Khi đã cho lưu lượng Q và vận tốc v, thì kênh có mặt cắt có lợi nhất về thủy lực sẽ có độ dốc nhỏ nhất.

Nếu lấy hệ số C theo Maninh $C = \frac{1}{n}R^{1/6}$, thì công thức Sêzi sẽ có dạng:

$$Q = (\beta + m)\frac{\sqrt{i}}{\sqrt[3]{2^2}.n}h^{2\frac{2}{3}} = A\frac{\sqrt{i}}{n}h^{2\frac{2}{3}}$$

trong đó hệ số $A = \frac{\beta + m}{1,587}$ tùy theo độ dốc m sẽ có các trị số sau đây:

m	0	0,5	1	1,5	2
A	1,26	1,095	1,15	1,33	1,56

Bài toán cơ bản. Cho lưu lượng Q, độ dốc i, hệ số mái dốc m và hệ số nhám n. Xác định kích thước kênh: độ sâu h và chiều rộng đáy b khi mặt cắt là có lợi nhất về thủy lực.

Giải: Dùng công thức Sêzi nói trên, tính đại lượng:

$$h^{2\frac{2}{3}} = \frac{Qn}{A\sqrt{i}}$$

Ở đây tất cả các đại lượng ở vế phải đều đã biết theo đầu bài.

Ta tìm chiều sâu h bằng cách lấy logarit hoặc sử dụng đồ thị 8.10a và lúc đó, khi đã biết h, ta tìm chiều rộng đáy kênh theo công thức b = βh.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Thí dụ: Cho Q = 25,4 m^3/s; i = 0,0004; m = 1,5 và n = 0,025.

Giải:

1- Ứng với hệ số mái dốc m = 1,5, tìm được theo bảng đại lượng A = 1,33 (xem ở trên) hoặc theo công thức:

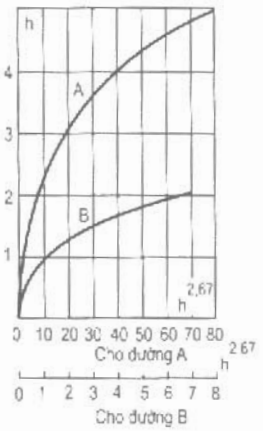
$$A = \frac{\beta + m}{1,587}$$

2- Tính $h^{2,67} = \frac{Qn}{\sqrt{i}} = \frac{25,4.0,025}{1,33.0,02} = 23,87.$

3- Trên đồ thị hình 8.10a ta tìm được chiều sâu của kênh h = 3,246m.

4- Tính chiều rộng đáy kênh:

$$b = \beta.h = 0,610.3,246 = 1,98m.$$



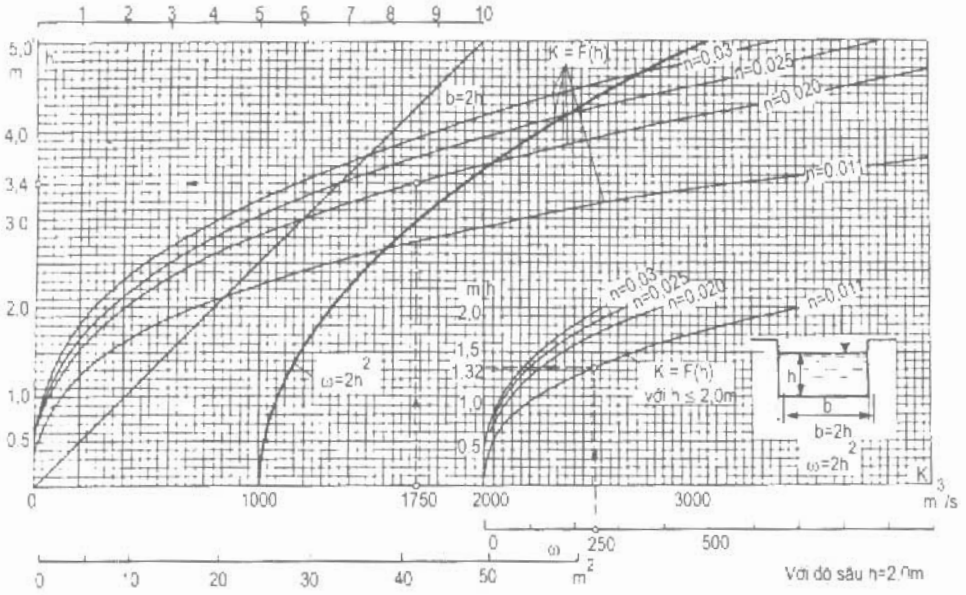
Hình 8.10a

Để tính toán gần đúng cho các kênh hình thang và hình chữ nhật có mặt cắt lợi nhất về thủy lực, ta dùng đồ thị ở các hình 8.11 ÷ 8.13. Trên các đồ thị này cho các quan hệ:

$$K = \omega C\sqrt{Ri} = f(h)$$

$$\omega = (\beta + m)h^2 = f_1(h)$$

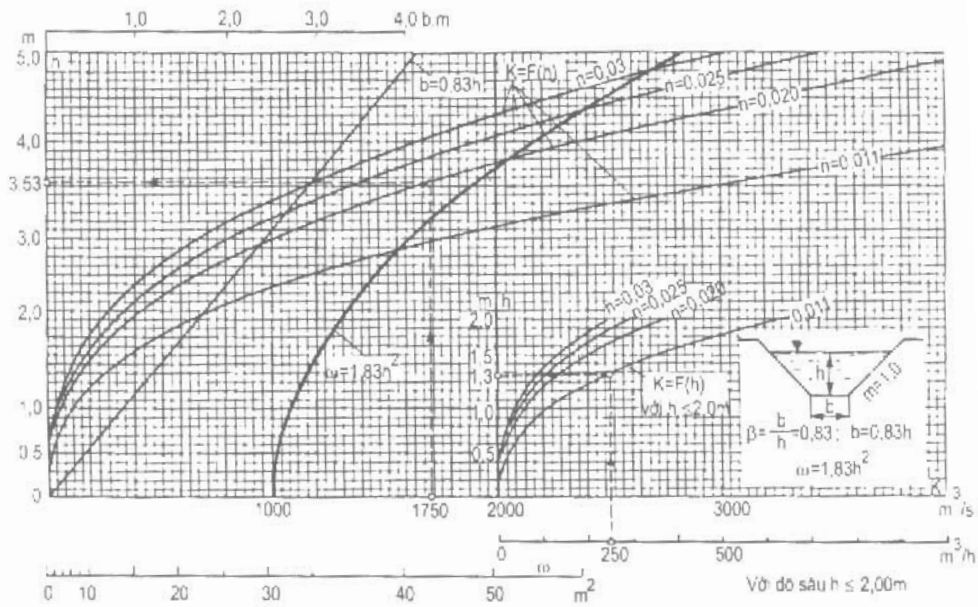
$$b = \beta.h = f_2(h)$$



Hình 8.11: *Đồ thị để tính toán các kênh có mặt cắt lợi nhất về thủy lực* $C = \frac{1}{n}R^y$, *m = 0,00*

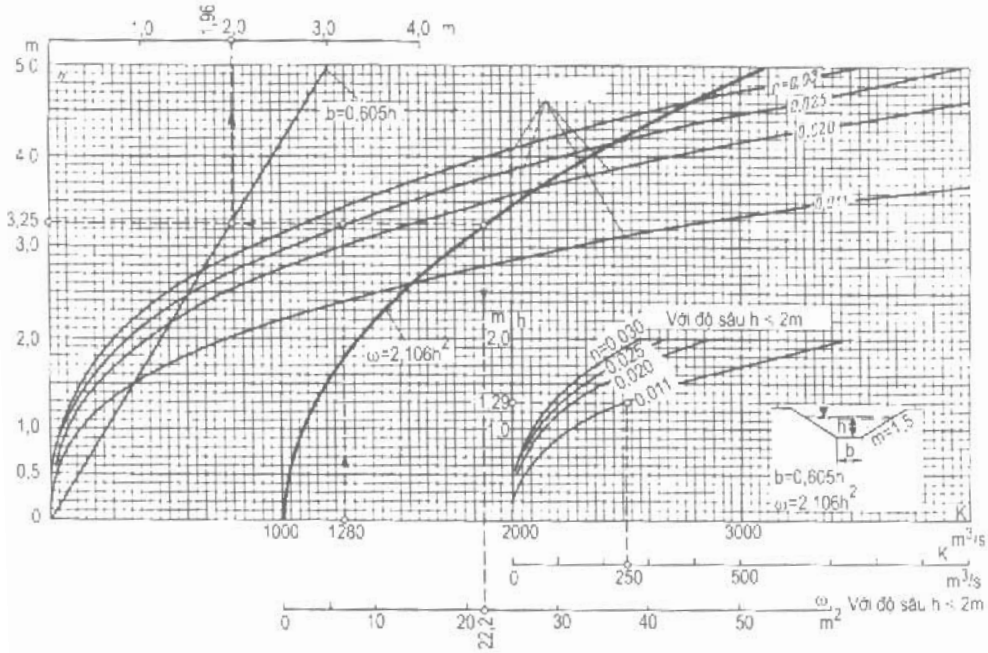
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 8.12: Đồ thị để tính toán các kênh có mặt cắt lợi nhất về thủy lực

$$C = \frac{1}{n} R^{y}, \; m = 1$$



Hình 8.13: Đồ thị để tính toán các kênh có mặt cắt lợi nhất về thủy lực

$$C = \frac{1}{n} R^{y}, \; m = 1,5$$

https://tieulun.hopto.org

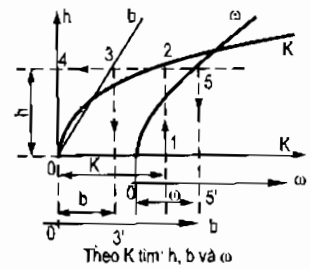
www.thuvien247.net

Đặc trưng lưu lượng K dùng cho các đồ thị này được tính ứng với các hệ số nhám n = 0,011; 0,020; 0,025 và 0,030 theo công thức của N. N. Pavlôpxki.

Thí dụ: Tìm các kích thước h và b và vận tốc trung bình v của kênh có mặt cắt có lợi nhất về thủy lực khi lưu lượng Q = 25,4 m^3/s, độ dốc i = 0,0004, hệ số mái dốc m = 1,5 và hệ số nhám n = 0,025.

Giải: Ta tính $K = \frac{Q}{\sqrt{i}} = \frac{25,4}{\sqrt{0,0004}} = 1270$ m^3/s và tiếp đó dùng ngay đồ thị ở hình 8.13 (với K = 1270 m^3/s) tìm được: độ sâu trong kênh h = 3,25m; chiều rộng đáy b = 1,96m và diện tích mặt cắt ướt $\omega = 22,2m^2$ (vận tốc trung bình tính ra là $v = \frac{25,4}{22,2} = 1,14$ m/s).

Bằng cách tương tự, ta tiến hành tính toán kênh với những số liệu ban đầu khác. Giản đồ tổng quát của đồ thị và phương pháp sử dụng nó ghi trên hình 8.14.



Hình 8.14

Ghi chú: A. M. Latusencôp chỉ ra rằng trong thực tế có thể xét một khu vực thay đổi của $\beta = b/h$ từ β_{lnh} đến β_{max} mà trong phạm vi đó vận tốc dòng chảy chỉ khác với vận tốc lợi nhất về thủy lực không quá 5%. Trong trường hợp này ta có:

$$v_{lnh} > v > 0,95v_{lnh}$$

$$\beta_{lnh} < \beta < \beta_{max}$$

Các giá trị bằng số của β_{max} được cho trong bảng 8.17.

Bảng 8.17. Các giá trị của β_{max}

$\frac{v}{v_{lnh}}$	Hệ số mái dốc m				
	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0
0,99	1,76	1,68	1,73	2,01	2,40
0,95	3,58	3,78	4,20	5,33	6,66

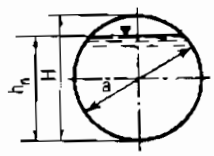
8.5. TÍNH TOÁN THỦY LỰC CHO CÁC KÊNH CÓ MẶT CẮT KHÉP KÍN. HÌNH DẠNG ĐẶC BIỆT CỦA MẶT CẮT NGANG CỦA CÁC ĐƯỜNG HẦM

Tính toán thủy lực cho kênh có mặt cắt ngang khép kín (hình tròn hay hình dạng khác) bằng ngay các công thức cơ bản $Q = \omega.v$ và $v = C\sqrt{Ri}$ gặp phải rất nhiều khó khăn. Bởi vậy trong thực tế người ta dùng các đồ thị hay bảng phụ lập cho các tỉ số:

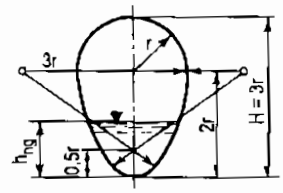
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

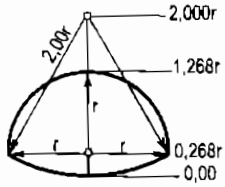
$\frac{K_{ng}}{K}$; $\frac{W_{ng}}{W}$; $\frac{\omega_{ng}}{\omega}$; $\frac{R_{ng}}{R}$ theo các độ ngập nước trong kênh $h_{ng}/H = a$ khác nhau, tức là lập ra dưới dạng các hàm số tương ứng của h_{ng}/H. Ở đây K_{ng} là đặc trưng lưu lượng ứng với độ sâu h_{ng} nào đó, tức là lúc chỉ ngập một phần, còn K là đặc tính lưu lượng ứng với độ sâu H, tức là lúc đầy nhất, khi kênh "làm việc" với mặt cắt toàn phần. Các yếu tố hình học của mặt cắt thường gặp nhất xem ở các hình 8.15 ÷ 8.18. Cũng tương tự người ta kí hiệu đặc trưng vận tốc, diện tích mặt cắt ướt và bán kính thủy lực ứng với độ sâu h_{ng} là W_{ng}, ω_{ng}, R_{ng}, còn đặc tính vận tốc, diện tích mặt cắt ướt và bán kính thủy lực ứng với độ sâu H là W, ω, R (không có chỉ số).



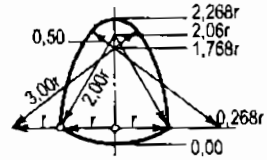
Hình 8.15



Hình 8.16



Hình 8.17



Hình 8.18

Do đó, các đồ thị và bảng phụ biểu thị các quan hệ hàm số:

$$\frac{K_{ng}}{K} = f_1\left(\frac{h_{ng}}{H}\right) = f_1(a); \qquad \frac{W_{ng}}{W} = f_2\left(\frac{h_{ng}}{H}\right) = f_2(a)$$

Trị số a, bằng tỉ số h_{ng}/H, được gọi là "độ ngập của kênh kín" (ống).

Đối với các kênh có mặt cắt tương tự về hình học thì các hệ thức nói trên $K_{ng}/K = f_1(a)$ và $W_{ng}/W = f_2(a)$ là không thay đổi nếu khi tính đặc trưng lưu lượng, đặc trưng vận tốc K và W ta dùng công thức $C = \frac{1}{n}R^y$ với y = const. Các hệ thức này sẽ thay đổi với mức độ không đáng kể, nếu ta xác định C theo công thức N. N. Pavlôpxki hoàn chỉnh. Trong thực tế, nói chung, có thể cho rằng các hệ thức này không có liên quan với các đại lượng của kênh kín. Do đó, nếu mặt cắt của các kênh kín là tương tự về hình học với nhau thì các hệ thức đó sẽ như nhau.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Trên các hình 8.19 ÷ 8.22 đã cho các đường cong $K_{ng}/K = f_1(a)$ và $W_{ng}/W = f_2(a)$ ứng với các mặt cắt có tính chất điển hình. Dùng các đường cong nói trên có thể xác định đặc trưng lưu lượng K_{ng} hay đặc trưng vận tốc W_{ng} ứng với mọi chiều sâu chứa nước h_{ng} của kênh kín, nếu như đã biết đặc trưng lưu lượng K hay đặc trưng vận tốc W ứng với lúc đầy nhất của mặt cắt đó.

Đặc trưng lưu lượng ứng với độ sâu h_{ng} bằng:

$$K_{ng} = Kf_1\left(\frac{h_{ng}}{H}\right) \tag{8-32}$$

Đặc trưng vận tốc ứng với độ sâu h_{ng} bằng:

$$W_{ng} = Wf_2\left(\frac{h_{ng}}{H}\right) \tag{8-33}$$

Bài toán ngược lại cũng được giải một cách tương tự

$$K = \frac{K_{ng}}{f_1\left(\frac{h_{ng}}{H}\right)} \text{ và } W = \frac{W_{ng}}{f_2\left(\frac{h_{ng}}{H}\right)} \tag{8-34}$$

Các thí dụ bằng số sau đây sẽ nói rõ cách ứng dụng thực tế của nó.

Thí dụ 1. Xác định lưu lượng Q và vận tốc trung bình v trong kênh mặt cắt tròn với các số liệu: đường kính ống D = 3m, độ sâu của nước h_{ng} = 2,1m, hệ số nhám n = 0,020, độ dốc của ống i = 0,0009.

Giải:

1- Đầu tiên tìm đặc trưng lưu lượng và đặc trưng vận tốc ứng với lúc đầy nước nhất giống như cách tìm cho đường dẫn nước có áp theo các công thức $K = \omega C\sqrt{R}$ và $W = C\sqrt{R}$ (hoặc theo bảng 7.2 hay 7.3). Ta được:

Đặc trưng lưu lượng: $K = 288,9\ m^3/s$ (theo bảng 7.2)

Diện tích mặt cắt ướt: $\omega = 7,069 m^2$

Đặc trưng vận tốc: $W = \frac{K}{\omega} = \frac{288,9}{7,069} = 40,8\ m/s$

2- Xác định độ đầy nước: $a = \frac{h_{ng}}{H} = \frac{2,10}{3,0} = 0,70$

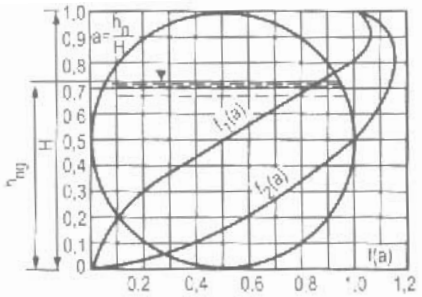
3- Theo đồ thị hình 8.19, ứng với a = 0,7, tìm được: $\frac{K_{ng}}{K} = 0,065$; $\frac{W_{ng}}{W} = 1,13$

và do đó:

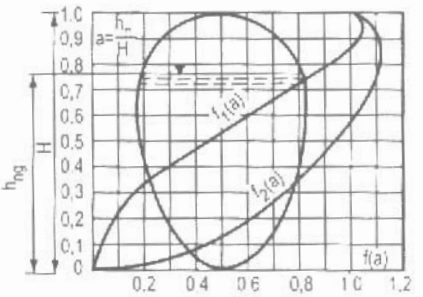
$K_{ng} = 0,825$; $K = 0,825.291,1 = 240\ m^3/s$; $W_{ng} = 1,13.W = 1,13.41,2 = 46,5\ m/s$.

https://tieulun.hopto.org

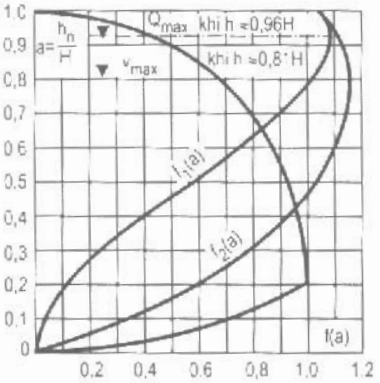
www.thuvien247.net



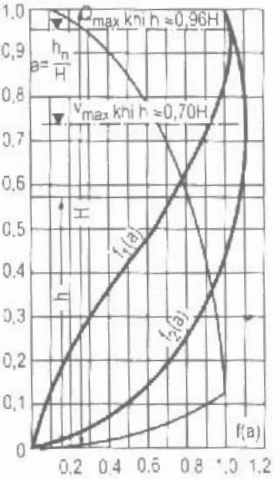
Hình 8.19 $K_{ng}/K = f_1(a)$, $W_{ng}/W = f_2(a)$



Hình 8.20 $K_{ng}/K = f_1(a)$, $W_{ng}/W = f_2(a)$



Hình 8.21: $K_{ng}/K = f_1(h_{ng}/H) = f_1(a)$
$W_{ng}/W = f_2(h_{ng}/H) = f_2(a)$



Hình 8.22: $K_{ng}/K = f_1(h_{ng}/H) = f_1(a)$
$W_{ng}/W = f_2(h_{ng}/H) = f_2(a)$

4- Do đó Q và v cần tìm sẽ là:

$$Q = K_{ng}\sqrt{i} = 240,0.\sqrt{0,0009} = 7,2\ m^3/s$$

$$v = W_{ng}\sqrt{i} = 46,5.\sqrt{0,0009} = 1,4\ m/s$$

Thí dụ 2: Tìm xem với độ sâu h_{ng} nào thì lưu lượng đi qua kênh kín sẽ là Q = 5 m^3/s, nếu cho D = 3m, n = 0,020 và i = 0,0009.

Giải:

1- Đối với toàn mặt cắt ta có: K = 288,9 m^3/s (xem ví dụ I).

2- Ta tìm ra đặc trưng lưu lượng ứng với Q = 5 m^3/s và i = 0,0009.

$$K_{ng} = \frac{Q}{\sqrt{i}} = \frac{5}{\sqrt{0,0009}} = 167\ m^3/s$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

3- Tìm tỉ số: $\frac{K_{ng}}{K} = \frac{167}{288,9} = 0,578$

và lúc đó với $K_{ng}/K = 0,578$, theo đồ thị hình 8.19, ta tìm được tỉ số: $\frac{h_{ng}}{h} = 0,55$.

4- Do đó độ sâu phải tìm của nước là: $h_{ng} = 0,55H = 0,55D = 0,55.3 = 1,65m$.

Thí dụ 3: Tìm độ dốc i của kênh kín mặt cắt tròn với các số liệu sau: lưu lượng $Q = 5\ m^3/s$, đường kính D = 3m, n = 0,020, độ ngập nước $a = h_{ng}/H = 0,4$.

Giải:

1- Đối với toàn mặt cắt, ta có: $K = 288,9\ m^3/s$ (xem ví dụ I).

2- Với độ ngập nước đã cho $a = h_{ng}/H = 0,4$, theo đồ thị hình 8.19 ta tìm được tỉ số: $\frac{K_{ng}}{K} = 0,35$ và do đó $K_{ng} = 0,35.K = 0,35.288,9 = 101\ m^3/s$.

3- Lúc đó độ dốc i phải tìm sẽ bằng:

$$i = \left(\frac{Q}{K_{ng}}\right)^2 = \left(\frac{5}{101}\right)^2 = 0,0025$$

Thí dụ 4: Xác định đường kính của đường hầm mặt cắt tròn bằng bêtông cốt thép với các điều kiện sau đây: độ dốc i = 0,0009, hệ số nhám n = 0,015, lưu lượng cần phải dẫn qua $Q = 24\ m^3/s$ với độ ngập nước $a = h_{ng}/H = 0,7$.

Giải:

1- Tìm đặc trưng lưu lượng cần thiết K_{ng} ứng với độ ngập nước đã cho a = 0,7:

$$K_{ng} = \frac{Q}{\sqrt{i}} = \frac{24}{\sqrt{0,0009}} = 800\ m^3/s$$

2- Theo đồ thị hình 8.19, khi a = 0,7, ta tìm được tỉ số: $\frac{K_{ng}}{K} = 0,825$.

3- Lúc đó, đặc trưng lưu lượng khi đầy nước toàn mặt cắt phải bằng:

$$K = \frac{K_{ng}}{f(a)} = \frac{800}{0,825} = 970\ m^3/s$$

4- Theo đặc trưng lưu lượng đã tìm được khi đầy toàn mặt cắt $K = 970\ m^3/s$, ta tìm được đường kính như đã chỉ ở chương 7.

Đặc biệt, khi hệ số nhám n = 1, đặc trưng lưu lượng K' trong trường hợp này sẽ bằng $K' = K.n = 970.0,015 = 14,6\ m^3/s$. Khi đó theo đồ thị hình 7.2, K' = f(D), ta tìm được D = 4,3m.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Trị số của đặc trưng lưu lượng K khi mặt cắt tròn và đầy toàn bộ cũng được xác định như đối với các đường dẫn nước có áp đã nói ở chương thứ 7, còn đối với mặt cắt trên hình 8.16 và 8.17 thì xác định theo bảng 8.18 và 8.19.

Đối với các hình 8.17 và 8.18 có thể xác định đặc trưng lưu lượng K theo công thức chung $K = \omega C\sqrt{R}$, nếu lấy:

Đối với hình 8.17 $\omega = 1{,}936r^2$ và $R = 0{,}370r$.

Đối với hình 8.18 $\omega = 3{,}388r^2$ và $R = 0{,}492r$.

Bảng 8.18. Các trị số của đặc trưng lưu lượng K (m^3/s) và đặc trưng vận tốc W (m/s) đối với các mặt cắt hình trứng trên hình 8.16 khi n = 0,013 và khi đầy toàn bộ mặt cắt[1]

H (m)	K (m^3/s)	W (m/s)	H (m)	K (m^3/s)	W (m/s)
0,30	0,497	10,82	1,35	29,93	32,17
0,45	1,523	14,43	1,50	42,69	34,43
0,60	3,314	18,03	1,65	51,43	37,00
0,75	6,119	21,31	1,80	64,39	38,92
0,90	10,01	24,19	1,95	78,58	40,42
1,05	15,20	27,03	2,10	92,19	42,68
1,20	21,55	29,34	2,25	115,80	44,81

Bảng 8.19. Các giá trị của đặc trưng lưu lượng K và đặc trưng vận tốc W của mặt cắt hình máng (hình 8.17) khi n = 0,013, nước đầy mặt cắt

Chiều rộng mặt cắt B = 2r (m)	K (m^3/s)	W (m/s)	Chiều rộng mặt cắt B = 2r (m)	K (m^3/s)	W (m/s)
1,00	12,28	25,4	2,40	128,0	46,2
1,20	20,12	28,9	2,80	193,0	50,9
1,40	30,40	32,1	3,20	276,0	55,7
1,60	43,60	35,1	3,60	375,0	59,8
1,80	59,60	38,0	4,00	495,0	63,9
2,00	78,80	40,7			

Các hình dạng mặt cắt đặc biệt của đường hầm (tuynen) (hình 8.23)

Các hình dạng mặt cắt I, II, III và IV là các hình dạng mặt cắt mẫu của các đường hầm dẫn nước theo TY 24-108-48 của Bộ Điện Liên Xô.

Trị số của đặc trưng lưu lượng K (m^3/s) và lưu lượng của các đường hầm mặt cắt tròn được xác định theo các tỉ số $\frac{K_{\text{mặt cắt}}}{K_{\text{ống tròn}}}$ ghi ở bảng 8.20.

[1] Pavlôpxki N. N., Sách tra cứu thủy lực, ONTI, 1937.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 8.20. Các trị số $\frac{K_{mặt\ cắt}}{K_{ống\ tròn}}$ đối với một số mặt cắt định hình của tuynen

(theo TC và QP của Bộ Điện Liên Xô)

Khi đầy diện tích mặt cắt ω	Hình dạng I			Hình dạng II		
	H = B	H = 1,25B	H = 1,5B	H = B	H = 1,25B	H = 1,5B
100	0,97	0,96	0,845	0,98	0,97	0,96
80	0,97	0,945	0,925	0,97	0,945	0,925
	Hình dạng III			Hình dạng IV		
100	0,985	0,965	0,95	0,99	0,98	0.97
80	0,98	0,96	0,945	0,98	0,97	0.95

Để tính toán thủy lực cho các mặt cắt đường hầm II và IV trên hình 8.23. Ở các bảng 8.21 ÷ 8.23 đã cho các trị số của đặc trưng lưu lượng ứng với hệ số nhám n = 1,0 đối với các trường hợp đầy hoàn toàn cũng như đầy một phần mặt cắt. Để có đặc trưng lưu lượng thực tế ứng với hệ số nhám cho trước cần nhân trị số ở bảng với 1/n.

Bảng 8.21. Các đặc trưng lưu lượng của tuynen không áp cho các dạng II và V (hình 8.23) khi hệ số nhám n = 1, $K' = \omega R^{1/6}\sqrt{R}$ (m^3/s) lúc đầy nước đối với các chiều cao H (m) khác nhau của tuynen

H, m	$\frac{H}{2}$, m	$\left(\frac{H}{2}\right)^{2.7}$	$K' = 2,2164\left(\frac{H}{2}\right)^{2.7}$, m^3/s
Dạng II trên hình 8.23			
2	1,0	1,000	2,2169
3	1,5	2,988	6,64
4	2,0	6,498	14,40
5	2,5	11,870	26,30
6	3,0	19,420	43,10
7	3,5	29,440	66,20
8	4,0	42,230	93,50
Dạng V trên hình 8.23 $K' = 2,097\left(\frac{H}{2}\right)^{2.7}$ m^3/s			
2	1,0	1,000	2,097
3	1,5	2,988	6,30
4	2,0	6,498	13,67
5	2,5	11,870	24,70
6	3,0	19,420	40,80
7	3,5	29,440	61,80
8	4,0	42,230	88,70

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 8.22. Các giá trị của đặc trưng lưu lượng (môđun lưu lượng) $K' = \omega R^{1/6}\sqrt{R}$ khi hệ số nhám n = 1 và cả diện tích mặt cắt ướt ứng với các độ ngập nước (h/H) khác nhau đối với các tuynen có dạng II và V (hình 8.23); các giá trị trong bảng thuộc về dạng có chiều cao H = 2m

$\frac{h}{H}$	K' (m^3/s)	ω (m^2)	$\frac{h}{H}$	K' (m^3/s)	ω (m^2)
Hình dạng II					
0,05	0,0330	0,1780	0,55	0,4210	2,1728
0,10	0,1084	0,3738	0,60	1,5915	2,3705
0,15	0,2113	0,5732	0,65	1,7584	2,5640
0,20	0,3321	0,7732	0,70	1,9175	2,7513
0,25	0,4685	0,9732	0,75	2,0659	2,9298
0,30	0,6167	1,1732	0,80	2,1922	3,0967
0,35	0,7679	1,3732	0,85	2,2951	3,2485
0,40	0,9200	1,5732	0,90	2,3625	3,3805
0,45	1,0832	1,7262	0,95	2,3759	3,4852
0,50	1,2506	1,9732	1,00	2,2164	3,5440
Hình dạng V					
0,05	0,012	0,087	0,55	1,317	2,011
0,10	0,090	0,280	0,60	1,487	2,208
0,15	0,154	0,449	0,65	1,654	2,402
0,20	0,260	0,635	0,70	1,824	2,590
0,25	0,383	0,826	0,75	1,960	2,768
0,30	0,517	1,019	0,80	2,089	2,935
0,35	0,663	1,215	0,85	2,192	3,086
0,40	0,818	1,413	0,90	2,258	3,218
0,45	0,980	1,612	0,95	2,272	3,323
0,50	1,146	1,811	1,00	2,297	3,382

Bổ sung thêm, còn cho các đồ thị của:

$$K' = \omega.R^{0,7} = f(H) \quad \text{(hình 8.24)}$$

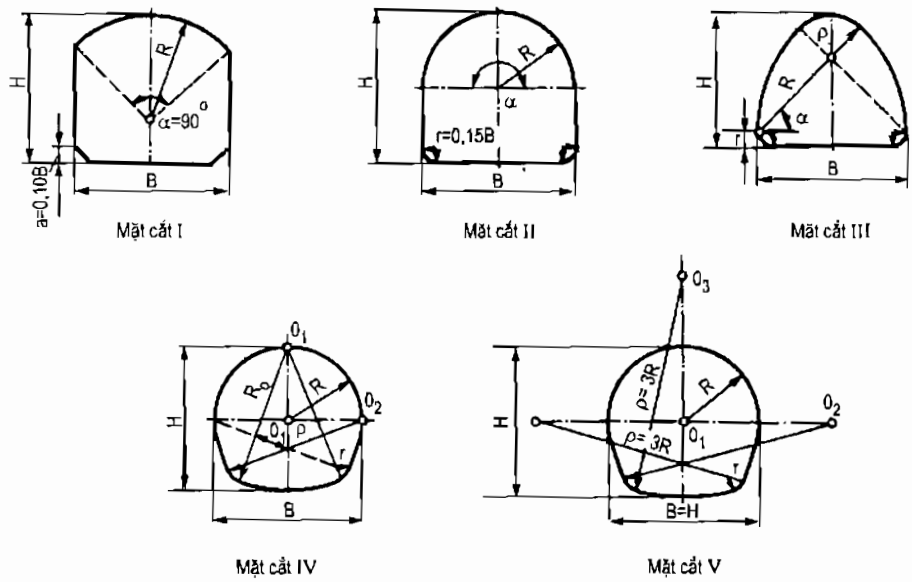
và của

$$K'_{ng} / K' = f(h/H) \quad \text{(hình 8.25)}$$

Các trị số K' và ω ghi ở bảng 8.22 ứng với mặt cắt ngang của các mặt cắt II và V (theo hình 8.23) với chiều cao H = 2m.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 8.23: *Các dạng của tuynen dẫn nước không áp*

$$\text{Dạng I}\ \begin{matrix} H = B \\ H = 1{,}25B \\ H = 1{,}50B \end{matrix}\Big\} R = \frac{B}{\sqrt{2}} \qquad \text{Dạng II}\ \begin{matrix} H = B \\ H = 1{,}25B \\ H = 1{,}50B \end{matrix}\Big\} R = \frac{B}{2}$$

Dạng III				Dạng IV			
H = B		H = 1,25B	H = 1,4B	H = B		H = 1,15B	H = 1,30B
R	B	1,5B	2B	R	0,5B	0,5B	0,5B
ρ	0,293B	0,25B	0,25B	R_o	B	B	B
r	0,207B	0,20B	0,25B	ρ	B	1,5B	2B
α	$\frac{\pi}{4}$	$\text{arctg}\frac{3}{4}$	$\text{arctg}\frac{3}{5}$	r	0,15B	0,15B	0,15B

Đối với các mặt cắt ngang có chiều cao khác (H > 2m, H < 2m), đặc trưng lưu lượng K' và diện tích mặt cắt ướt ω (khi đầy hoàn toàn) có thể xác định theo công thức:

- Đối với mặt cắt II: $K' = 2{,}2164\left(\frac{H}{2}\right)^{2,7}$; $\omega = 3{,}544\left(\frac{H}{2}\right)^{2}$;

- Đối với mặt cắt V: $K' = 2{,}097\left(\frac{H}{2}\right)^{2,7}$; $\omega = 3{,}382\left(\frac{H}{2}\right)^{2}$.

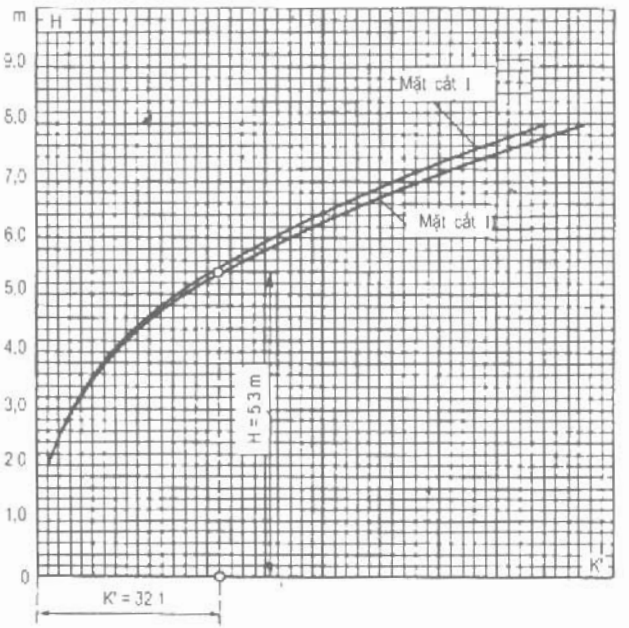
Để xác định K và diện tích mặt cắt ướt khi đầy một phần mặt cắt, ở bảng 8.23 đã cho trị số của các tỉ số:

https://tieulun.hopto.org

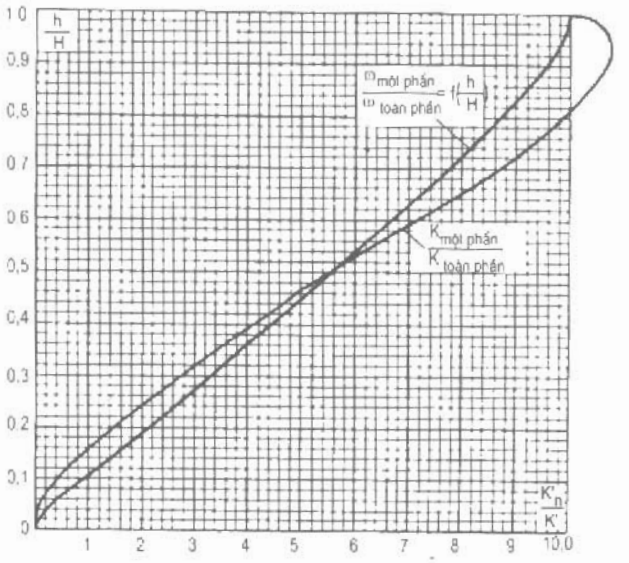
www.thuvien247.net

$$\frac{K'_{\text{một phần}}}{K'_{\text{toàn phần}}} \text{ và } \frac{\omega_{\text{một phần}}}{\omega_{\text{toàn phần}}}$$

ứng với các độ ngập tương ứng.



Hình 8.24: Đặc trưng lưu lượng K' = f(H) khi hệ số nhám n = 1



Hình 8.25

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 8.23. Để tính các tuynen không áp có các dạng II và V

Các giá trị của $\frac{K'_{\text{một phần}}}{K'_{\text{toàn phần}}} = f\left(\frac{h}{H}\right)$ **và** $\frac{w_{\text{một phần}}}{w_{\text{toàn phần}}} = f\left(\frac{h}{H}\right)$

$\frac{h}{H}$	$\frac{K'_{\text{một phần}}}{K'_{\text{toàn phần}}}$	$\frac{\omega_{\text{một phần}}}{\omega_{\text{toàn phần}}}$	$\frac{h}{H}$	$\frac{K'_{\text{một phần}}}{K'_{\text{toàn phần}}}$	$\frac{\omega_{\text{một phần}}}{\omega_{\text{toàn phần}}}$
Hình dạng II					
0,10	0,049	0,105	0,70	0,866	0,775
0,20	0,150	0,218	0,80	0,990	0,870
0,30	0,278	0,330	0,90	1,065	0,955
0,40	0,415	0,443	0,95	1,075	0,985
0,50	0,565	0,557	1,00	1,00	1,00
0,60	0,720	0,670			
Hình dạng V					
0,	0	0	0,60	0,707	0,675
0,10	0,043	0,083	0,70	0,865	0,765
0,20	0,124	0,188	0,80	0,995	0,870
0,30	0,246	0,300	0,90	1,075	0,945
0,40	0,390	0,417	0,95	1,085	0,980
0,50	0,546	0,535	1,00	1,000	1,000

Thí dụ: Cho chiều cao của một mặt cắt dạng chậu H = 4m (dạng II). Xác định đặc trưng lưu lượng K' (khi hệ số nhám n = 1) và diện tích mặt cắt ướt ω lúc chiều sâu h = 2,4m, tức là lúc độ ngập $h_{ng}/H = 0,6$.

Giải:

1- Tìm đặc trưng lưu lượng khi đầy nước hoàn toàn

$$K' = 2,2164\left(\frac{H}{2}\right)^{2,7} = 2,216.6,53 \approx 14,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

diện tích mặt cắt ướt: $\omega_{đáy} = 3,514\left(\frac{H}{2}\right)^2 = 14,176\text{m}^2$

2- Khi đó với độ ngập nước $(h_{ng}/H) = 0,6$, tức là khi chiều sâu nước h = 0,6H = 0,6.4 = 2,4m, ta được:

$$K'_{0,6} = 14,4\frac{K_{\text{một phần}}}{K_{\text{toàn phần}}} = 14,4.0,72 = 10,4 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\omega_{0,6} = 14,176\frac{K_{\text{một phần}}}{K_{\text{toàn phần}}} = 14,176.0,67 = 9,5\text{m}^2$$

Các giá trị bằng số của $K_{\text{một phần}}/K_{\text{toàn phần}} = 0,72$ và $\omega_{\text{một phần}}/\omega_{\text{toàn phần}} = 0,67$ được lấy từ bảng 8.23 đối với dạng II khi h/H = 0,6.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Chương 9

CHUYỂN ĐỘNG KHÔNG ĐỀU TRONG LÒNG DẪN HỞ

9.1. CÁC PHƯƠNG TRÌNH CƠ BẢN

Trong chuyển động không đều, vận tốc trung bình và độ dốc đường mặt nước thay đổi theo dòng chảy. Nếu vận tốc tăng lên tức là nếu $\partial v/\partial s > 0$, thì chuyển động sẽ nhanh dần. Nếu $\partial v/\partial s < 0$, chuyển động sẽ chậm dần.

Phương trình cơ bản của chuyển động ổn định thay đổi dần của chất lỏng trong lòng dẫn hở có dạng:

$$J_p = \frac{d}{ds}\left(\frac{\alpha v^2}{2g}\right) + \frac{v^2}{C^2R} \tag{9-1}$$

trong đó:

$J_p = -\,dH/ds$ - độ dốc mặt thoáng ở mặt cắt (n - n);

J_p - đại lượng biến thiên dọc theo dòng chảy;

v, R và C - vận tốc trung bình, bán kính thủy lực và hệ số Sêzi của mặt cắt (n - n) khi độ sâu dòng chảy là h;

α - hệ số Côriôlit, phụ thuộc vào sự phân bố vận tốc không đều trên mặt cắt. Trong điều kiện bình thường lấy $\alpha = 1{,}1$ (xem chương thứ 3).

Phương trình cơ bản (9-1) còn có thể viết dưới dạng khác, cụ thể:

a) Đối với lòng dẫn không lăng trụ:

$$\frac{dh}{ds} = \frac{i - \dfrac{Q^2}{\omega^2 C^2 R} + \dfrac{\alpha Q^2}{g\omega^3}\cdot\dfrac{\partial\omega}{\partial s}}{1 - \dfrac{\alpha Q^2}{g\omega^3}B} \tag{9-2}$$

b) Đối với lòng dẫn lăng trụ, tức là khi $\dfrac{\partial\omega}{\partial s} = 0$

$$\frac{dh}{ds} = \frac{i - \dfrac{Q^2}{\omega^2 C^2 R}}{1 - \dfrac{\alpha Q^2}{g\omega^2}B} \tag{9-3}$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

c) Đối với lòng dẫn chữ nhật rất rộng (B >> h)

$$\frac{dh}{ds} = i\frac{h^3 - h_o^3}{h^3 - h_{pg}^3} \qquad (9\text{-}4)$$

trong đó:

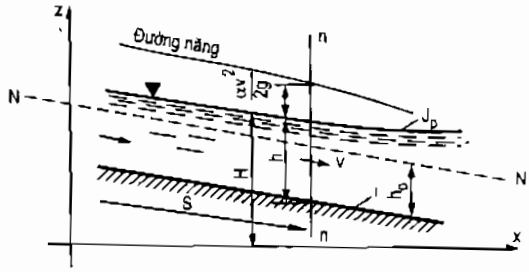
Q - lưu lượng;

B - chiều rộng mặt thoáng của dòng chảy;

h_o - độ sâu chảy đều (độ sâu bình thường);

i - độ dốc đáy lòng dẫn;

h_{pg} - độ sâu phân giới.



Hình 9.1

Theo đề nghị của V. Đ. Jurin, đại lượng $N = \omega^3/B$ được gọi là số "kiểm tra, còn đại lượng $N_{pg} = \alpha Q^2/g$ gọi là giá trị "phân giới" của số trên. Đưa vào trong công thức (9-3) các đại lượng đặc trưng lưu lượng K_o của chuyển động đều và K của mặt cắt đang xét và cả hai đại lượng N và N_{pg}, ta sẽ có:

$$\frac{dh}{ds} = i\frac{1 - \left(\frac{K_o}{K}\right)^2}{1 - \frac{N_{pg}}{N}} \qquad (9\text{-}5)$$

Tỉ số N_{pg}/N quyết định ("kiểm tra") trạng thái dòng chảy. Khi $N_{pg}/N \geq 1$ hoặc $N_{pg}/N \leq 1$, sẽ lần lượt xảy ra trạng thái chảy êm, chảy phân giới và chảy xiết.

a) Các dạng mặt thoáng cơ bản của lòng dẫn lăng trụ

Đạo hàm dh/ds = tgβ, trong đó β - góc nghiêng giữa đường tiếp tuyến với mặt thoáng và đường đáy lòng dẫn, đặc trưng cho sự biến thiên của độ sâu dọc theo dòng chảy.

Tùy điều kiện i > 0 hoặc i < 0 và h > h_{pg} hoặc h < h_{pg} (hay $N_{pg}/N \geq 1$ hoặc $N_{pg}/N \leq 1$) và h > h_o hoặc h < h_o (khi h = h_o chuyển động đều) mà mặt thoáng trong lòng dẫn lăng trụ sẽ có dạng như ở trên sơ đồ:

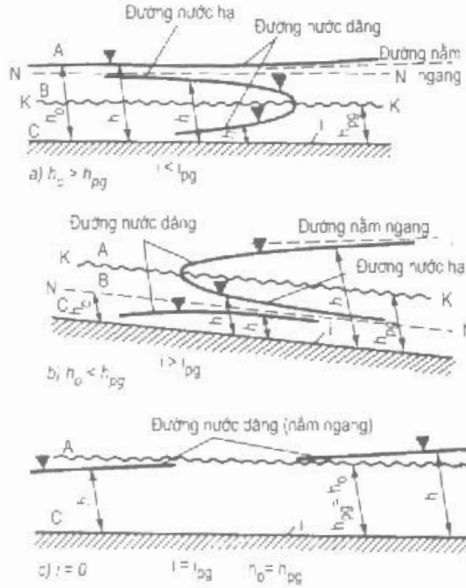
Khi i > 0, độ dốc dương (thuận) (hình 9.2);

Khi i = 0, độ dốc bằng không (đáy nằm ngang) (hình 9.3);

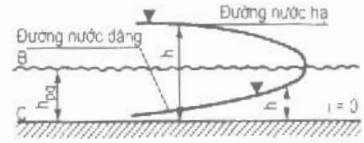
Khi i < 0, độ dốc âm (nghịch) (hình 9.4).

https://tieulun.hopto.org

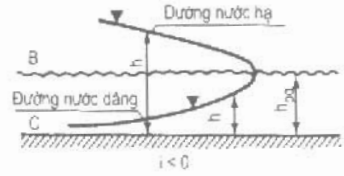
www.thuvien247.net



Hình 9.2



Hình 9.3

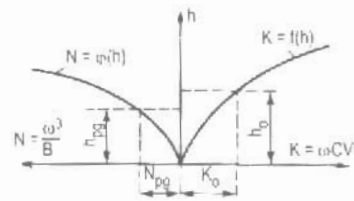


Hình 9.4

Ghi chú:

1. Đối với lòng dẫn không lăng trụ, dạng mặt thoáng không những chỉ phụ thuộc vào điều kiện $i > 0$ hoặc $i < 0$; $h > h_{pg}$ hoặc $h < h_{pg}$ và $h > h_o$ hoặc $h < h_o$, mà còn phụ thuộc vào tính chất thay đổi hình dạng của lòng dẫn dọc theo dòng chảy, cho nên các dạng ở hình 9.2 ÷ 9.4 cũng có thể không còn giữ được nguyên như thế.

2. Trong thực tế, để xác định tính chất (dạng) của mặt thoáng (mặt cắt dọc của dòng nước) khi nào cũng vậy, trong trường hợp $i > 0$, cần xác định độ sâu chảy đều h_o và độ sâu phân giới h_{pg} hoặc là chỉ phải xác định h_{pg} trong trường hợp $i = 0$ và $i < 0$ (hoặc, theo đề nghị của V. Đ. Jurin, tính $N_{pg} = \alpha.Q^2/g$ và $N = \omega^3/B$ cho mỗi trường hợp). Khi đó theo tỉ số giữa độ sâu thực h và độ sâu chảy đều h_o và h_{pg} sẽ giải được bài toán về dạng mặt thoáng theo các sơ đồ của hình 9.2 ÷ 9.4 hoặc theo V. Đ. Jurin là dùng biểu đồ $N = \varphi(h)$ và $K = f(h)$ (hình 9.5).



Hình 9.5

Tất cả các đường mặt thoáng trong trường hợp $dh/ds > 0$, tức là khi độ sâu tăng theo chiều dòng chảy, gọi là đường nước dâng, còn khi $dh/ds < 0$, tức là khi độ sâu giảm dọc theo chiều dòng chảy gọi là đường nước hạ.

Ghi chú: Trong cả hai trường hợp, khi $dh/ds > 0$, tức là chuyển động chậm dần và khi $dh/ds < 0$, tức là chuyển động nhanh dần vận tốc đáy thay đổi với cường độ lớn hơn vận tốc mặt. Có thể viết $du = -gdH/u$, trong đó u - vận tốc cục bộ, còn $H = (z + h)$ - cột nước thủy tĩnh; từ đó

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

suy ra, sự thay đổi vận tốc cục bộ du tỉ lệ nghịch với chính giá trị của vận tốc u. Do đó, khi có đường nước hạ, vận tốc đáy tăng nhanh hơn vận tốc mặt, nên biểu đồ vận tốc được cân bằng.

b) Độ sâu phân giới

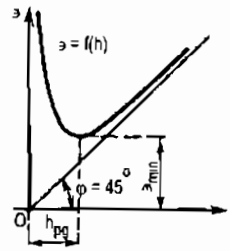
Độ sâu phân giới là độ sâu mà ứng với lưu lượng Q đã cho thì năng lượng đơn vị của mặt cắt $э = h + \frac{\alpha v^2}{2g} = h + \frac{\alpha Q^2}{2g\omega^2} = f(h)$ có giá trị nhỏ nhất.

Trong phương trình năng lượng đơn vị $э = f(h)$, h là chiều sâu dòng chảy được đo thẳng góc với đường đáy lòng dẫn. Khi độ dốc đáy lớn ta cần phải viết chính xác hơn phương trình trên, khi đó nó có dạng:

$$э = a + \frac{\alpha v^2}{2g} = h\cos\gamma + \frac{\alpha Q^2}{2g\omega^2} = f(h)$$

Đại lượng $a = h\cos\gamma$ là chiều cao đo áp ứng với áp suất thủy tĩnh tại điểm đáy của dòng chảy. Góc γ bằng góc nghiêng của đáy lòng dẫn so với đường nằm ngang.

Trong trường hợp đang xét, năng lượng đơn vị của mặt cắt cũng là hàm của chiều sâu $э = f(h)$, trong đó góc γ là thông số. Hàm $э = f(h)$ được biểu diễn bằng đồ thị như trên hình 9.6. Trong trường hợp tổng quát, tức là đối với mặt cắt ngang có hình dạng bất kì và có xét đến độ dốc, chiều sâu phân giới được xác định bằng cách giải phương trình:



Hình 9.6

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

hoặc:
$$\frac{\omega^3\cos\gamma}{B} = \frac{\alpha Q^2}{g} \qquad (9\text{-}6)$$

Nếu lấy $\cos\gamma = 1{,}0$ thì:
$$1 - \frac{\alpha Q^2}{g\omega^3}B = 0$$

hoặc:
$$\frac{\omega^3}{B} = \frac{\alpha Q^2}{g}$$

Có thể tìm được lời giải của các phương trình trên bằng cách vẽ đồ thị của các hàm số:

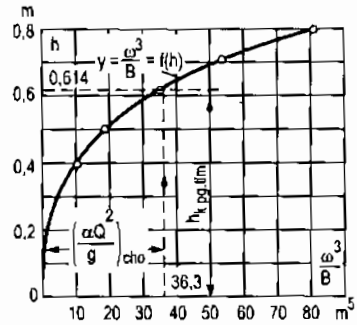
$$y = \frac{\omega^3\cos\gamma}{B} = f(h)$$

hoặc:
$$y = \frac{\omega^3}{B} = f(h)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Khi cho trước $\alpha Q^2/g$, dùng đường cong trên ta có thể tìm h_{pg} trực tiếp bằng đồ thị (hình 9.7)*.



Hình 9.7

Đối với lòng dẫn chữ nhật có chiều rộng b, chiều sâu phân giới được tính theo công thức (9-6a) hoặc (9-6b):

$$h_{pg}=\sqrt[3]{\frac{\alpha Q^2}{gB^2\cos\gamma}} \qquad (9\text{-}6a)$$

Ghi chú: Nếu lưu lượng xác định theo thang N°2, thì khi đọc h_{pg} trên đồ thị ta phải nhân thêm với số 4,642; còn nếu dùng thang N°3, thì khi đọc trị số h_{pg} trên đồ thị ta phải chia cho số 4,642.

Thí dụ:

1- Cho q = 0,4 $m^3/(s.m)$; α = 1,10. Tìm h_{pg}.

Dùng thang N°2 trên đồ thị h'_{pg} = 1,215m . Vậy h_{pg} = 1,215.4,642 = 5,62m.

2- Cho q = 0,4 $m^3/(s.m)$; α = 1,0. Tìm h_{pg}.

Dùng thang N°3 trên đồ thị h'_{pg} = 1,215m . Vậy $h_{pg}=\frac{1,215}{4,642}=0,262m$.

hoặc khi độ dốc bé, cho $\cos\alpha$ = 1,0

$$h_{pg}=\sqrt[3]{\frac{\alpha Q^2}{gB^2}}=\sqrt[3]{\frac{\alpha q^2}{g}} \qquad (9\text{-}6b)$$

trong đó: q - lưu lượng trên một đơn vị chiều rộng của lòng dẫn (còn gọi là "lưu lượng riêng") bằng Q/B.

Sau đây, trong mọi trường hợp, khi không có các chỉ dẫn tương ứng ta sẽ xem như lòng dẫn chỉ có độ dốc bé vào khoảng $i \le 0,10$, mà khi đó:

$$\cos\gamma=\sqrt{1-i^2}=\sqrt{0,99}\approx 1,00$$

nên có thể bỏ qua khi tính toán.

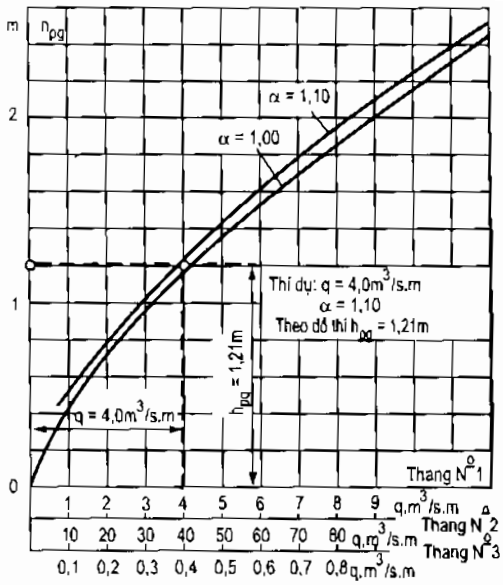
Các giá trị h_{pg} đối với lòng dẫn chữ nhật khi α = 1,10 và α = 1,0 được ghi trên bảng 9.1 và trên đồ thị hình 9.8.

---

* Theo đề nghị của V. Đ. Jurin, h_{pg} được xác định bằng đồ thị $N=\omega^3/B=\varphi(h)$ (hình 9.5) khi đại lượng $N_{pg}=\alpha Q^2/g$ cho trước.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 9.8: *Đồ thị để xác định* $h_{pg} = \sqrt[3]{\frac{\alpha q^2}{g}}$ *của lòng dẫn chữ nhật (hệ mét)*

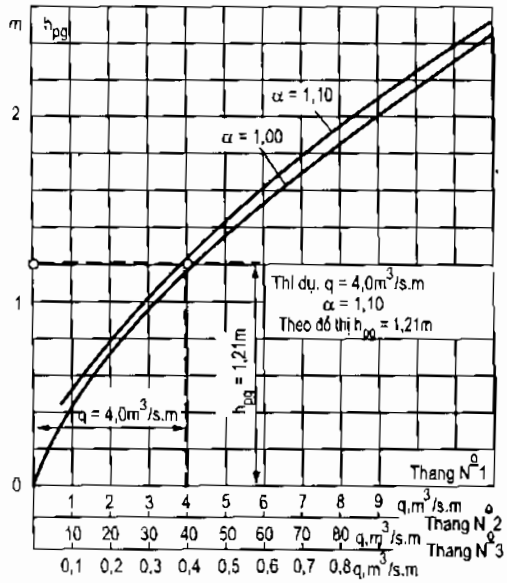
Bảng 9.1. Các giá trị của độ sâu phân giới h_{pg} của lòng dẫn chữ nhật phụ thuộc vào lưu lượng đơn vị q = Q/B $m^3/(s.m)$ (khi hệ số α = 1,0 và α = 1,1)

q	h_{pg}		q	h_{pg}		q	h_{pg}	
	α = 1,0	α = 1,1		α = 1,0	α = 1,1		α = 1,0	α = 1,1
0,05	0,064	0,066	1,50	0,612	0,632	4,00	1,176	1,214
0,10	0,100	0,104	1,60	0,639	0,660	4,20	1,216	1,255
0,20	0,160	0,165	1,70	0,665	0,687	4,40	1,255	1,294
0,30	0,209	0,216	1,80	0,692	0,714	4,60	1,292	1,333
0,40	0,254	0,262	1,90	0,716	0,740	4,80	1,330	1,372
0,50	0,295	0,304	2,00	0,742	0,765	5,00	1,366	1,410
0,60	0,332	0,343	2,20	0,790	0,815	5,50	1,455	1,502
0,70	0,368	0,380	2,40	0,837	0,864	6,00	1,543	1,593
0,80	0,402	0,415	2,60	0,883	0,912	7,00	1,710	1,765
0,90	0,435	0,449	2,80	0,928	0,958	8,00	1,868	1,928
1,00	0,467	0,482	3,00	0,972	1,003	9,00	2,020	2,085
1,10	0,497	0,513	3,20	1,014	1,047	10,00	2,168	2,237
1,20	0,527	0,544	3,40	1,056	1,090	11,00	2,310	2,384
1,30	0,556	0,574	3,60	1,096	1,130	12,00	2,448	2,529
1,40	0,584	0,604	3,80	1,137	1,174			

Tùy theo vận tốc phân giới $v_{pg} = q/h_{pg}$, mà chiều sâu phân giới được tính theo công thức:

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 9.8: *Đồ thị để xác định* $h_{pg} = \sqrt[3]{\frac{\alpha q^2}{g}}$ *của lòng dẫn chữ nhật (hệ mét)*

Bảng 9.1. Các giá trị của độ sâu phân giới h_{pg} của lòng dẫn chữ nhật phụ thuộc vào lưu lượng đơn vị q = Q/B $m^3/(s.m)$ (khi hệ số α = 1,0 và α = 1,1)

q	h_{pg}		q	h_{pg}		q	h_{pg}	
	α = 1,0	α = 1,1		α = 1,0	α = 1,1		α = 1,0	α = 1,1
0,05	0,064	0,066	1,50	0,612	0,632	4,00	1,176	1,214
0,10	0,100	0,104	1,60	0,639	0,660	4,20	1,216	1,255
0,20	0,160	0,165	1,70	0,665	0,687	4,40	1,255	1,294
0,30	0,209	0,216	1,80	0,692	0,714	4,60	1,292	1,333
0,40	0,254	0,262	1,90	0,716	0,740	4,80	1,330	1,372
0,50	0,295	0,304	2,00	0,742	0,765	5,00	1,366	1,410
0,60	0,332	0,343	2,20	0,790	0,815	5,50	1,455	1,502
0,70	0,368	0,380	2,40	0,837	0,864	6,00	1,543	1,593
0,80	0,402	0,415	2,60	0,883	0,912	7,00	1,710	1,765
0,90	0,435	0,449	2,80	0,928	0,958	8,00	1,868	1,928
1,00	0,467	0,482	3,00	0,972	1,003	9,00	2,020	2,085
1,10	0,497	0,513	3,20	1,014	1,047	10,00	2,168	2,237
1,20	0,527	0,544	3,40	1,056	1,090	11,00	2,310	2,384
1,30	0,556	0,574	3,60	1,096	1,130	12,00	2,448	2,529
1,40	0,584	0,604	3,80	1,137	1,174			

Tùy theo vận tốc phân giới $v_{pg} = q/h_{pg}$, mà chiều sâu phân giới được tính theo công thức:

https://tieulun.hopto.org

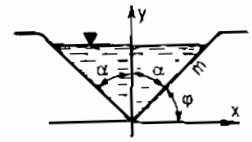
www.thuvien247.net

$$h_{pg} = \frac{\alpha v_{pg}^2}{g} \qquad (9\text{-}7)$$

Tùy theo giá trị nhỏ nhất của năng lượng đơn vị của mặt cắt $э_{min}$ mà chiều sâu phân giới được tính theo:

$$h_{pg} = \frac{2}{3} э_{min} \qquad (9\text{-}8)$$

Đối với lòng dẫn hình tam giác (hình 9.9)

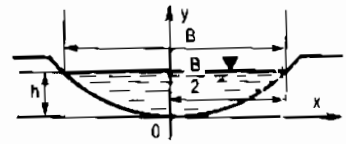


Hình 9.9

$$h_{pg} = \sqrt[5]{\frac{2\alpha Q^2}{gm^2}} \qquad (9\text{-}9)$$

trong đó: m - hệ số mái dốc.

Đối với lòng dẫn hình parabôn (hình 9.10) có mặt cắt đối xứng thì:



Hình 9.10

$$h_{pg} \sqrt[4]{\frac{27}{64}\frac{\alpha Q^2}{gp}} \qquad (9\text{-}10)$$

trong đó: p là thông số của đường parabôn trong phương trình $x^2 = 2p$ tức là $p = \frac{x^2}{2y}$.

Để tính toán gần đúng khi p = 15 ÷ 20, có thể thay công thức chính xác (9-10) bằng hệ thức gần đúng (với hệ đo là mét).

$$\begin{aligned} h_{pg} &= 0,22\sqrt{Q}, \quad \text{khi } \alpha = 1,0 \\ h_{pg} &= 0,225\sqrt{Q}, \quad \text{khi } \alpha = 1,1 \end{aligned} \qquad (9\text{-}10a)$$

Thí dụ: Cho Q = 25 m^3/s; p = 15; α = 1,0. Độ sâu phân giới của lòng dẫn parabôn theo công thức gần đúng (9-10a) sẽ bằng:

$$h_{pg} = 0,22\sqrt{25} = 1,10m$$

Còn theo công thức chính xác (9-10):

$$h_{pg} = \sqrt[4]{\frac{27}{64}\frac{\alpha Q^2}{gp}} = \sqrt[4]{\frac{27.25^2}{64.9,81.16}} = 1,15m$$

Khi p = 20 thì h_{pg} = 1,08m.

Đối với lòng dẫn hình thang, thì độ sâu phân giới h_{pg} có thể xác định từ công thức (9-6) theo phương pháp thử dần hoặc bằng cách lập đường biểu diễn $y = \omega^3 / B = f(h)$ (hình 9.7) hoặc theo một trong số các phương pháp sau đây:

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

• *Phương pháp của P. G. Kixêlep.* Độ sâu phân giới h_{pg} được xác định bằng đồ thị của độ sâu phân giới của một kênh mô hình (đồng dạng hình học với kênh đã cho) có đáy rộng b = 1m. Theo định luật tương tự về trọng lực, thì lưu lượng của kênh mô hình xác định theo lưu lượng Q của kênh đã cho bằng công thức:

$$q_{mh} = \frac{q}{M^2\sqrt{M}} \qquad (9\text{-}11)$$

trong đó: $M = b/b_{mh}$ - tỉ lệ xích chiều dài của mô hình (nếu b_{mh} = 1m thì M = b);

Q - lưu lượng của kênh đã cho (trong tự nhiên).

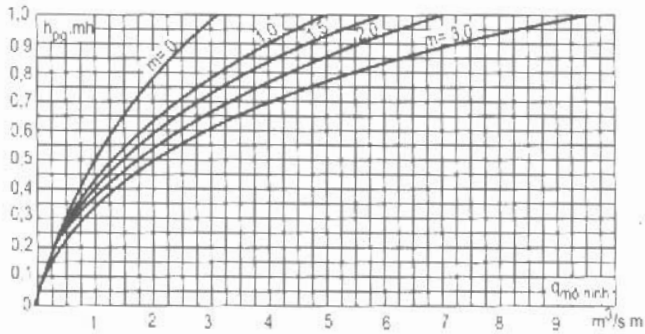
Độ sâu phân giới cần tìm trong kênh tự nhiên khi đó bằng:

$$h_{pg} = M.h_{pgmh} \qquad (9\text{-}12)$$

Trên hình 9.11, giới thiệu đồ thị độ sâu phân giới h_{pgmh} của kênh mô hình có mặt cắt hình thang với bề rộng đáy b = 1,0m phụ thuộc vào lưu lượng q_{mh} tức là $h_{pgmh} = f(q_{mh})$ ứng với các trị số mái dốc m khác nhau. Dùng đồ thị này dễ dàng xác định được độ sâu phân giới h_{pg} của kênh đã cho với bề rộng đáy là b và lưu lượng là Q.

Khi lưu lượng của kênh mô hình $q_{mh} < 0{,}075 m^3/(m.s)$, thì độ sâu phân giới của kênh hình thang có thể xác định theo công thức như của kênh chữ nhật, trong đó b là chiều rộng đáy:

$$h_{pg} = \sqrt[3]{\frac{\alpha Q^2}{gb^2}}$$



Hình 9.11: Đồ thị xác định h_{pg} của kênh hình thang theo phương pháp P.G. Kixelep

Đồ thị 9.11 ứng với hệ số α = 1,1. Nếu độ sâu phân giới phải xác định với một giá trị hệ số α khác, tức là không bằng 1,1, thì lưu lượng tính toán của kênh mô hình tính theo công thức:

$$q_{mh} = \frac{Q}{M^2\sqrt{M}}\sqrt{\frac{\alpha}{1{,}10}}$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

trong trường hợp đặc biệt, khi $\alpha = 1,00$, thì:

$$q_{mh} = \frac{Q}{1,05M^2\sqrt{M}}$$

Trình tự tính toán sẽ trình bày trong ví dụ dưới đây.

Thí dụ: Xác định độ sâu phân giới h_{pg} của một kênh có đáy b = 3m, hệ số mái dốc m = 1,5, lưu lượng Q = 15 m^3/s.

Giải:

1. Trước hết tính tỉ lệ xích của mô hình M = b/1,0 = b, rồi tính lưu lượng của kênh mô hình tương ứng với lưu lượng đã cho 15 m^3/s:

$$q_{mh} = \frac{Q}{M^2\sqrt{M}} = \frac{15}{3^2\sqrt{3}} = 0,961 \ m^3/(s.m)$$

2. Sau đó theo đồ thị 9.11, tìm độ sâu phân giới của kênh. Trong trường hợp này, ứng với $q_{mh} = 0,961$ $m^3/(s.m)$ ta được $h_{pgmh} = 0,385m$.

3. Khi đó, độ sâu phân giới cần tìm của kênh đã cho tương ứng với lưu lượng Q = 15m^3/s sẽ bằng:

$$h_{pg} = Mh_{pgmh} = 3.0,385 = 1,15m$$

• *Phương pháp của I. I. Agrôxkin*[1]: Năm 1952 I. I Agrôxkin đã đưa ra một phương pháp mới rất hiệu quả để xác định độ sâu phân giới trong kênh hình thang bằng cách tính độ sâu phân giới h_{pg} của kênh quy ước hình chữ nhật có bề rộng đáy b bằng bề rộng đáy của kênh hình thang tức là theo công thức:

$$h_{pgcn} = \sqrt[3]{\frac{\alpha Q^2}{gb^2}}$$

trong đó: Q - lưu lượng kênh;

b - bề rộng đáy của kênh hình thang đã cho.

Sau đó tính trị số σ_{cn}

$$\sigma_{cn} = \frac{mh_{pgcn}}{b} \qquad (9\text{-}13)$$

trong đó: m - hệ số mái dốc của kênh đã cho.

Dùng đồ thị hình 9.12 hay bảng 9.2 của I. I. Agrôxkin để tìm giá trị hàm số $f(\sigma_{cn})$, sau đó ta tính độ sâu phân giới của kênh hình thang:

---

[1] Một phương pháp tương tự đã được G. K. Mikhailôp đề ra sớm hơn và độc lập với phương pháp của I. I. Agrôxkin ("Thủy lực và cải tạo đất", 1952, N°8).

https://tieulun.hopto.org

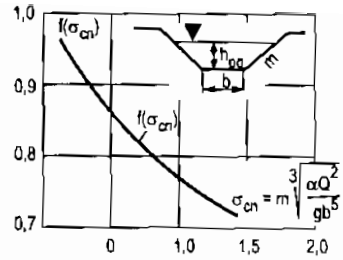
www.thuvien247.net

$$h_{pg} = f(\sigma_{cn})h_{pgcn} = f(\sigma_{cn})\sqrt[3]{\frac{\alpha Q^2}{gb^2}} \qquad (9\text{-}14)$$

I. I. Agrôxkin đã xác định hàm số $f(\sigma_{cn})$ theo công thức:

$$f(\sigma_{cn}) = \frac{\sqrt[3]{1+2\sigma_r}}{1+\sigma_r}$$

trong đó: $\sigma_T = \frac{mh_{pg}}{b}$



Hình 9.12: *Đồ thị để xác định hàm số $f(\sigma_{cn})$*

Bảng 9.2. Giá trị bằng số của hàm số $f(\sigma_{cn})$ để xác định độ sâu phân giới của kênh hình thang

σ_{cn}	$f(\sigma_{cn})$	σ_{cn}	$f(\sigma_{cn})$	σ_{cn}	$f(\sigma_{cn})$
0,12	0,961	0,36	0,893	0,70	0,820
0,13	0,958	0,37	0,891	0,72	0,816
0,14	0,955	0,38	0,888	0,74	0,813
0,15	0,952	0,39	0,886	0,76	0,809
0,16	0,949	0,40	0,883	0,78	0,805
0,17	0,946	0,41	0,881	0,80	0,802
0,18	0,943	0,42	0,879	0,82	0,799
0,19	0,940	0,43	0,876	0,84	0,796
0,20	0,937	0,44	0,874	0,86	0,793
0,21	0,934	0,45	0,871	0,88	0,789
0,22	0,931	0,46	0,869	0,90	0,786
0,23	0,928	0,47	0,867	0,92	0,783
0,24	0,925	0,48	0,865	0,94	0,780
0,25	0,922	0,49	0,862	0,96	0,777
0,26	0,920	0,50	0,860	0,98	0,774
0,27	0,917	0,52	0,856	1,00	0,771
0,28	0,914	0,54	0,852	1,05	0,763
0,29	0,911	0,56	0,848	1,10	0,757
0,30	0,909	0,58	0,843	1,15	0,750
0,31	0,906	0,60	0,839	1,20	0,744
0,32	0,903	0,62	0,835	1,25	0,737
0,33	0,901	0,64	0,831	1,30	0,731
0,34	0,898	0,66	0,827	1,35	0,726
0,35	0,895	0,68	0,824	1,40	0,721

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Thí dụ: Chiều rộng đáy kênh b = 3m; hệ số mái dốc m = 1,5; lưu lượng Q = 15 m^3/s. Xác định h_{pg}.

Giải:

1. Tính độ sâu phân giới của kênh quy ước hình chữ nhật:

$$h_{pgcn} = \sqrt[3]{\frac{\alpha Q^2}{gb^2}} = \sqrt[3]{\frac{1,1.15^2}{9,81.3^2}} \approx 1,141m$$

2. Sau đó tìm đối số σ_{cn} của kênh hình chữ nhật:

$$\sigma_{cn} = \frac{mh_{pgcn}}{b} = \frac{1,5.1,41}{3} = 0,705$$

3. Theo bảng 9.2 ứng với σ_{cn} = 0,705 ta có $f(\sigma_{cn})$ = 0,818, khi đó độ sâu phân giới tìm được bằng:

$$h_{pg} = f(\sigma_{cn})h_{pgcn} = 0,818.1,41 = 1,15m$$

• *Phương pháp B. T. Emxep*[1]. Theo phương pháp của Emxep, tính toán được tiến hành bằng đồ thị. Trên hình 9.13 vẽ các đường cong

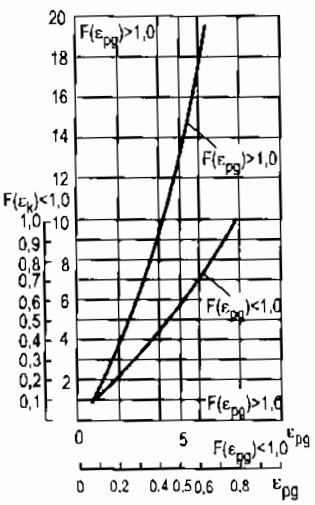
$$\varepsilon_{pg} = f\left(\frac{m}{b}\sqrt[3]{\frac{Q^2}{gb^2}}\right) = f[F(\varepsilon_{pg})]$$

đối với $F(\varepsilon_{pg}) > 1,0$ và đối với $F(\varepsilon_{pg}) < 1,0$.

Ở đây dùng các kí hiệu sau:

$$\varepsilon_{pg} = \frac{m}{b}h_{pg} \text{ và } F(\varepsilon_{pg}) = \frac{m}{b}\sqrt[3]{\frac{Q^2}{gb^2}}$$

trong đó: Q, b, m, g và h_{pg} - lần lượt là lưu lượng đã cho, chiều rộng đáy của kênh hình thang, hệ số mái dốc, gia tốc rơi tự do và chiều sâu phân giới cần tìm. Trình tự tính toán theo đồ thị này được giới thiệu trong thí dụ sau:



Hình 9.13: *Đồ thị để xác định h_{pg}*

Thí dụ: Cho lưu lượng kênh hình thang Q = 15 m^3/s; chiều rộng đáy kênh b = 3m; hệ số mái dốc m = 1,5. Xác định chiều sâu phân giới.

---

[1] Emxep B. T. Phương pháp tính chuyển động không đều của dòng chảy hở trong kênh lăng trụ - "Tuyển tập MEI", M. t. XVI, 1963.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Giải:

1- Tính hàm số $F(\varepsilon_{pg})$:

$$F(\varepsilon_{pg}) = \frac{m}{b}\sqrt[3]{\frac{Q^2}{gb^2}} = \frac{1,5}{3}\sqrt[3]{\frac{15^2}{9,81.3^2}} = 0,685$$

2- Dùng đồ thị trên hình 9.13, ta tìm trị số $\varepsilon_{pg} = 0,58$ khi $F(\varepsilon_{pg}) = 0,685$. Trong trường hợp này $F(\varepsilon_{pg}) < 1,0$.

3- Tính chiều sâu phân giới cần tìm:

$$h_{pg} = \frac{\varepsilon_{pg} b}{m} = \frac{0,58.3,0}{1,5} = 1,16m$$

Ghi chú:

1- Trên đồ thị hình 9.13 có khác với đồ thị do B. T. Emxep vẽ ở chỗ, trục tọa độ $F(\varepsilon_{pg})$ không dùng thang lôgarit mà dùng thang số thông thường.

2- Phương pháp của B. T. Emxep đơn giản hơn phương pháp I. I. Agrôxkin. Tuy nhiên, dùng công thức của I. I. Agrôxkin ta có thể đi đến công thức tính toán tương đối đơn giản và tiện lợi dưới dạng sau:

$$h'_{pg} = \frac{\sqrt[3]{1 + 2\frac{m}{b}h_{pg}}}{1 + \frac{m}{b}h_{pg}} h_{pg}$$

trong đó: h_{pg} - chiều sâu phân giới của kênh chữ nhật có chiều rộng đáy bằng chiều rộng đáy của kênh hình thang;

h'_{pg} - chiều sâu phân giới của kênh hình thang;

m - hệ số mái dốc;

b - chiều rộng đáy kênh.

Thí dụ: Theo các điều kiện của thí dụ trên, tính chiều sâu phân giới theo công thức của I. I. Agrôxkin, ta được:

$$h'_{pg} = \frac{\sqrt[3]{1 + 2\frac{1,5}{3,0}1,37}}{1 + \frac{1,5}{3,0}1,37} 1,37 \approx 1,08m$$

tức là kết quả tính ra cũng gần giống như kết quả tính theo các phương pháp khác.

c) Độ dốc phân giới

Độ dốc phân giới là độ dốc khi lưu lượng đã cho Q chảy qua kênh trong điều kiện chuyển động đều với độ sâu bằng h_{pg}, tức là theo đẳng thức:

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$Q = \omega_{pg} C_{pg} \sqrt{R_{pg} i_{pg}}$$

Xác định độ dốc phân giới có thể tiến hành theo công thức:

$$i_{pg} = \frac{Q^2}{\omega_{pg}^2 C_{pg}^2 R_{pg}} \qquad (9\text{-}15)$$

trong đó: các trị số tương ứng ω_{pg}, C_{pg} và R_{pg} của độ sâu phân giới h_{pg}[1] tương ứng với kênh đã cho và lưu lượng Q đã cho; hoặc theo công thức:

$$i_{pg} = \frac{g}{\alpha C_{pg}^2} \frac{\chi_{pg}}{B_{pg}} \qquad (9\text{-}16)$$

hoặc đối với lòng dẫn hình chữ nhật rất rộng (B >> h) tức là B ≈ χ thì:

$$i_{pg} = \frac{g}{\alpha C_{pg}^2} \qquad (9\text{-}17)$$

Để sơ bộ tính toán, ta dùng bảng (9-2a) sau đây:

Bảng 9.2a. Các giá trị của độ dốc phân giới $i_{pg} = \frac{g}{\alpha C^2}$ khi $C = \frac{1}{n} R^y$

R (m)	n			
	0,011	0,020	0,030	0,040
0,6	0,0013	0,0047	0,0115	0,0220
1,0	0,0011	0,0036	0,0080	0,0142
2,0	0,0009	0,0028	0,0059	0,0099
5,0	0,0007	0,0022	0,0045	0,0074

Chú thích: Trong trường hợp khi độ sâu phân giới được xác định với sự tính độ dốc của lòng sông, có nghĩa là theo công thức sau: (đối với lòng sông chữ nhật)

$$h_{pg} = \sqrt[3]{\frac{\alpha Q^2}{gB^2 \cos\gamma}} = \frac{h_{pg}}{\sqrt[3]{\cos\gamma}}$$

Độ dốc phân giới có thể tìm được một cách đơn giản nhất đối với lòng sông rất rộng (B >> h).

Dùng công thức Sêzi:

$$Q = B h_{pg} C_{pg} \sqrt{h_{pg} i_{pg}}$$

---

[1] Tìm theo một trong các phương pháp đã giới thiệu ở trên.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

và tính đến $\cos\gamma = \sqrt{1-i^2}$ ta có thể nhận được công thức độ sâu phân giới như thế có xét đến ảnh hưởng của độ dốc.

$$h_{pg} = \frac{h_{pg}}{\sqrt[3]{\sqrt{1-i_{pg}^2}}}$$

Sau đó ta có thể lập được cả phương trình tính toán theo dạng sau:

$$\frac{i_{pg}}{\left(\sqrt[3]{\sqrt{1-i_{pg}^2}}\right)^{3+2y}} = \left[\frac{Qn}{bh_{pg}^{1,5+y}}\right]$$

hoặc:

$$\frac{i_{pg}}{\left(\sqrt{1-i_{pg}^2}\right)^{1+\frac{2y}{3}}} = \frac{g}{\alpha C_{pg}^2}$$

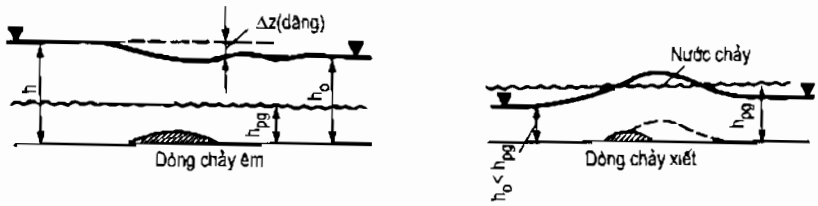
Ở đây chỉ số "pg" chỉ ra rằng đại lượng (giá trị, trị số) này được tính trong độ sâu phân giới, α là hệ số Kôriôlitxơ, còn "y" là chỉ số của lũy thừa trong công thức Pavlôpxki đối với hệ số Sêzi.

Độ dốc phân giới được tính theo những công thức đã chỉ ra ở trên bằng phương pháp lựa chọn.

Đối với độ dốc i' ≤ 0,2 có thể nhận được một cách gần đúng $\left(\sqrt{1-i_{pg}^2}\right)^{1+\frac{2y}{3}} \approx 1,0$ và xác định độ dốc phân giới theo công thức bình thường $i_{pg} = \frac{g}{\alpha C_{pg}^2}$.

d) Dòng chảy "êm" và dòng chảy "xiết"

Dòng chảy êm là dòng chảy có độ sâu $h > h_{pg}$. Trong trường hợp này nước chảy từ từ qua chướng ngại vật ở đáy, không sinh ra "nước nhảy". Khi $h < h_{pg}$ thì dòng chảy này gọi là dòng "chảy xiết" (hình 9.14).



Hình 9.14

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

e) Xác định số mũ thủy lực của kênh

Khái niệm về số mũ thủy lực rút ra từ quan hệ

$$\left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^2 = \left(\frac{K_1}{K_2}\right)^2 = \left(\frac{h_1}{h_2}\right)^x \qquad (9\text{-}18)$$

trong đó: x là số mũ thủy lực của kênh.

Như vậy là số mũ thủy lực x của kênh là bậc lũy thừa mà ta cần nâng tỉ số (h_1/h_2) lên để có được bình phương của tỉ số tương ứng của các đặc trưng lưu lượng $(K_1/K_2)^2$ hoặc của các lưu lượng $(Q_1/Q_2)^2$.

Việc tính x dựa vào công thức cơ bản (9-18), bằng cách lấy lôga tức là theo công thức:

$$x = \frac{2\lg\dfrac{K_1}{K_2}}{\lg\dfrac{h_1}{h_2}} \qquad (9\text{-}19)$$

trong đó: hai độ sâu h_1 và h_2 là tùy ý chọn, $K_1 = \omega_1 C_1\sqrt{R_1}$, ứng với h_1; $K_2 = \omega_2 C_2\sqrt{R_2}$, ứng với h_2.

Thí dụ: Cho bề rộng đáy của một kênh hình thang b = 5m, hệ số mái dốc m = 1,5; hệ số nhám n = 0,025. Tính số mũ thủy lực ứng với độ sâu trong quãng từ h_1 = 2,0m và h_2 = 1,0m.

Giải:

Ta xác định $K_1 = \omega_1 C_1\sqrt{R_1}$ khi h_1 = 2m và $K_2 = \omega_2 C_2\sqrt{R_2}$ khi h_2 = 1,0m. Tính toán được tiến hành dưới dạng bảng sau:

h (m)	ω (m^2)	χ (m)	R (m)	C ($m^{1/2}$/s)	K (m^3/s)
2	16	12,2	1,31	42,3	175
1	6,5	8,6	0,75	37,5	211

Số mũ thủy lực x của lòng dẫn được xác định theo chiều sâu h cho trước và chiều rộng đáy b. Các đường cong $x = \varphi\left(\frac{h}{b}\right)$ vẽ cho các hệ số mái dốc m khác nhau.

Khi đó theo (9-19):
$$x = \frac{2\lg\dfrac{775}{211}}{\lg\dfrac{2}{1}} = \frac{1,128}{0,301} = 3,75$$

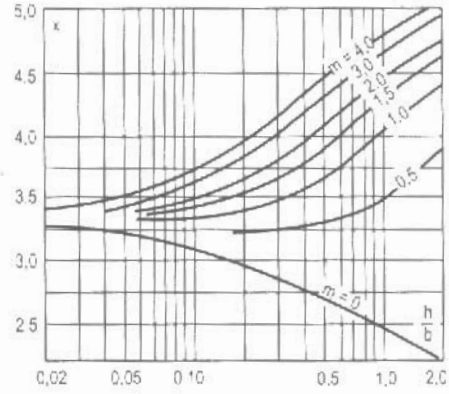
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Ghi chú:

1. Đối với lòng dẫn chữ nhật rất rộng, trong khi tính toán thường có thể lấy số mũ thủy lực x = 3,00 và đối với lòng dẫn hình parabôn x = 4,0;

2. Trong công thức (9-18) và (9-19) đã giả thiết với điều kiện x = const đối với mặt cắt đã cho. Nhưng giả thiết này không chính xác vì rằng x thay đổi theo độ sâu. Đối với kênh hình thang số mũ thủy lực của lòng dẫn phụ thuộc vào β = b/h.



Hình 9.15: *Đồ thị để xác định số mũ thủy lực x của lòng dẫn cho kênh hình thang*

Đồ thị (hình 9.15) do A. N. Rakhmanôp xây dựng rất tiện dùng trong việc xác định nhanh x theo tỉ số h/b và giá trị của hệ số mái dốc m (với $C = \frac{1}{n} R^{1/6}$). Chúng tôi trình bày đồ thị này ở dạng rút gọn (hình 9.15).

9.2. VẼ ĐƯỜNG MẶT THOÁNG CỦA LÒNG DẪN LĂNG TRỤ

a) Phương pháp dựa trên thức số mũ (9-18) (phương pháp B. A. Bakhmechep)

1. Kênh (lòng dẫn) có độ dốc thuận i > 0. Phương trình tính toán có dạng:

$$\frac{il}{h_o} = \eta_2 - \eta_1 - (1 - j_{th})[\varphi(\eta_2) - \varphi(\eta_1)] \qquad (9\text{-}20)$$

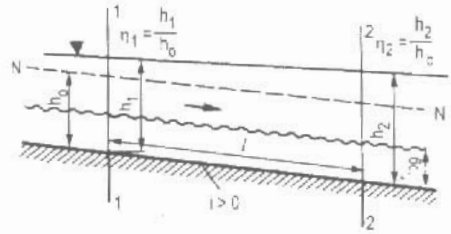
trong đó:

i - độ dốc đáy kênh;

l - chiều dài đoạn kênh;

h_o - chiều sâu dòng chảy đều ứng với lưu lượng đã cho (chiều sâu bình thường);

η_2 và η_1 - các chiều sâu "tương đối" $\eta_2 = h_2/h_o$ và $\eta_1 = h_1/h_o$ tại các mặt cắt đầu và cuối của đoạn đã cho (hình 9.16), tức là ứng với các mặt cắt 2-2 và 1-1.



Hình 9.16

Ghi chú: Để cho phù hợp với cách lấy giới hạn tích phân của phương trình vi phân cơ bản (9-3), thì mặt cắt (2-2) phải ở sau mặt cắt (1-1) theo dòng chảy (hình 9.16).

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$j_{tb} = \left(\frac{\alpha C^2 i}{g} \cdot \frac{B}{\chi} \right)_{tb}$$

trong đó: α - hệ số Côriôlit (xem chương 3);

C, χ và B - hệ số trong công thức Sêzi $v = C\sqrt{Ri}$, chu vi ướt và bề rộng mặt thoáng của lòng dẫn;

i và g - độ dốc đáy và gia tốc của trọng trường.

Ghi chú: Giá trị j có thể $j > 1,0$ hoặc $j < 1,0$; khi $i < i_{pg}$ thì $j < 1,0$; khi $i > i_{pg}$ khi $j > 1,0$.

$\varphi(\eta_2)$ và (η_1) - hàm số chiều sâu tương đối và chính là trị số của tích phân

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

Giá trị bằng số của hàm được ghi trong bảng 9.3.

Việc áp dụng phương trình (9-20) để vẽ đường mặt nước có thể quy về: 1) xác định độ dài *l* của đoạn kênh ở giữa hai mặt cắt có độ sâu h_2 và h_1 đã biết hoặc 2) xác định độ sâu h_1 khi cho h_2 và *l* (hoặc là xác định h_2 khi cho h_1 và *l*).

Trong trường hợp thứ nhất, việc tính toán đơn giản hơn, vì khi biết h_2 và h_1, tức là biết được $\eta_2 = h_2/h_0$ và $\eta_1 = h_1/h_0$, thì các giá trị của hàm số tương ứng $\varphi(\eta_2)$ và $\varphi(\eta_1)$ tìm được trực tiếp theo bảng, còn trị số của biểu thức $j_{tb} = \left(\frac{\alpha C^2 i}{g} \cdot \frac{B}{\chi} \right)_{tb}$ có thể tính trực tiếp khi đã biết các yếu tố của mặt cắt ngang ở cuối đoạn ứng với độ sâu h_2 và ở đoạn ứng với độ sâu h_1 tức là:

$$j_{tb} = \frac{j_1 + j_2}{2}$$

Trong trường hợp thứ hai tính toán phức tạp hơn vì nếu không biết một trong các độ sâu h_1 hoặc h_2 thì không biết η_1 hoặc η_2 cho nên không thể tính trực tiếp hàm số $\varphi(\eta_1)$ hoặc $\varphi(\eta_2)$ theo bảng được. Cũng như vậy, không thể tính trực tiếp j_{tb} theo công thức được. Trong trường hợp như thế thì giải bài toán bằng cách tính chọn đúng dần hoặc bằng đồ thị.

Trong cả hai trường hợp, trị số $\varphi(\eta)$ chọn ở bảng tương ứng với số mũ thủy lực x. Trình tự tính toán theo phương trình (9-20) và bảng 9.3 dùng cho cả đường nước dâng và đường nước hạ khi $i > 0$ như đã giới thiệu ở hình 9.2a, b.

Ghi chú: khi $i \approx i_{pg}$, theo hình 9.2c không cần dùng phương trình (9-20) để vẽ đường nước dâng.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 9.3. Các giá trị hàm số φ(η) của lòng dẫn có độ dốc đáy thuận (i > 0)

η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)
Khi số mũ thủy lực x = 2,00									
0	0	0,77	1,020	0,980	2,279	1,20	1,199	1,49	0,813
0,05	0,050	0,78	1,045	0,985	2,442	1,21	1,177	1,50	0,805
0,10	0.100	0.79	1,071	0,990	2,646	1,22	1,156	1,55	0,767
0,15	0,151	0,80	1,098	0,995	3,000	1,23	1,136	1,60	0,733
0,20	0,203	0,81	1,127	1,000	∞	1,24	1,117	1,65	0,703
0,25	0,309	0,82	1,156	1,005	2,997	1,25	1,098	1,70	0,675
0,30	0,309	0,83	1,178	1,010	2,652	1,26	1,081	1,75	0,650
0,35	0,365	0,84	1,221	1,015	2,415	1,27	1,065	1,80	0,626
0,40	0,424	0,85	1,256	1,020	2,307	1,28	1,049	1,85	0,605
0,45	0,485	0,86	1,293	1,025	2,197	1,29	1,033	1,90	0,585
0,50	0,549	0,87	1,333	1,030	2,117	1,30	1,018	1,95	0,566
0,55	0,619	0,88	1,375	1,035	2,031	1,31	1,004	2,0	0,549
0,60	0,693	0,89	1,421	1,040	1,966	1,32	0,990	2,1	0,518
0,61	0,709	0,90	1,472	1,045	1,908	1,33	0,977	2,2	0,490
0,62	0,727	0,905	1,499	1,05	1,857	1,34	0,964	2,3	0,466
0,63	0,741	0,910	1,527	1,06	1,768	1,35	0,952	2,4	0,444
0,64	0,758	0,915	1,557	1,07	1,693	1,36	0,940	2,5	0,424
0,65	0,775	0,920	1,589	1,08	1,629	1,37	0,928	2,6	0,405
0,66	0,792	0,925	1,622	1,09	1,573	1,38	0,917	2,7	0,389
0,67	0,810	0,930	1,658	1,10	1,522	1,39	0,906	2,8	0,374
0,68	0,829	0,935	1,696	1,11	1,477	1,40	0,896	2,9	0,360
0,69	0,848	0,940	1,738	1,12	1,436	1,41	0,886	3,0	0,346
0,70	0,867	0,945	1,782	1,13	1,398	1,42	0,876	3,5	0,294
0,71	0,887	0,950	1,831	1,14	1,363	1,43	0,866	4,0	0,255
0,72	0,907	0,955	1,885	1,15	1,331	1,44	0,856	4,5	0,226
0,73	0,928	0,960	1,945	1,16	1,301	1,45	0,847	5,0	0,203
0,74	0,950	0,965	2,013	1,17	1,273	1,46	0,838	6,0	0,168
0,75	0,972	0,970	2,092	1,18	1,247	1,47	0,829	8,0	0,126
0,76	0,996	0,975	2,184	1,19	1,222	1,48	0,821	10,0	0,100
Khi số mũ thủy lực x = 2,50									
0	0	0,20	0,201	0,40	0,411	0,60	0,657	0,64	0,714
0,05	0,050	0,25	0,252	0,45	0,468	0,61	0,671	0,65	0,729
0,10	0,100	0,30	0,304	0,50	0,527	0,62	0,685	0,66	0,744
0,15	0,150	0,35	0,357	0,55	0,590	0,63	0,699	0,67	0,760

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)
0,68	0,776	0,915	1,386	1,040	1,320	1.28	0,606	1,65	0,355
0,69	0,792	0,920	1,412	1,045	1,274	1,29	0,594	1,70	0,336
0,70	0,809	0,925	1,440	1,05	1,234	1,30	0,582	1,75	0,318
0,71	0,826	0,930	1,469	1,06	1,164	1,31	0,571	1,80	0,303
0,72	0,844	0,935	1,500	1,07	1,105	1,32	0,561	1,85	0,289
0,73	0,862	0,940	1,534	1,08	1,053	1,33	0,551	1,90	0,276
0,74	0,881	0,945	1,570	1,09	1,009	1,34	0,542	1,95	0,264
0,75	0,900	0,950	1,610	1,10	0,969	1,35	0,533	2,0	0,253
0,76	0,920	0,955	1,654	1,11	0,933	1,36	0,524	2,1	0,233
0,77	0,940	0,960	1,702	1,12	0,901	1,37	0,516	2,2	0,216
0,78	0,961	0,965	1,758	1,13	0,872	1,38	0,508	2,3	0,201
0,79	0,983	0,970	1,820	1,14	0,846	1,39	0,500	2,4	0,188
0,80	1,006	0,975	1,806	1,15	0,821	1,40	0,492	2,5	0,176
0,81	1,030	0,980	1,985	1,16	0,789	1,41	0,484	2,6	0,165
0,82	1,055	0,985	2,100	1,17	0,776	1,42	0,477	2,7	0,155
0,83	1,081	0,990	2,264	1,18	0,756	1,43	0,470	2,8	0,146
0,84	1,109	0,995	2,544	1,19	0,737	1,44	0,463	2,9	0,138
0,85	1,138	1,000	∞	1,20	0,719	1,45	0,456	3,0	0,131
0,86	1,169	1,005	2,139	1,21	0,702	1,46	0,450	3,5	0,103
0,87	1,202	1,010	1,865	1,22	0,686	1,47	0,444	4,0	0,084
0,88	1,237	1,015	1,704	1,23	0,671	1,48	0,438	4,5	0,070
0,89	1,275	1,020	1,591	1,24	0,657	1,49	0,432	5,0	0,060
0,90	1,316	1,025	1,504	1,25	0,643	1,50	0,426	6,0	0,046
0,905	1,339	1,030	1,432	1,26	0,630	1,55	0,399	8,0	0,029
0,910	1,362	1,035	1,372	1,27	0,618	1,60	0,376	10,0	0,021
Khi số mũ thủy lực x = 3,00									
0	0	0,60	0,637	0,72	0,807	0,84	1,040	0,930	1,348
0,05	0,050	0,61	0,650	0,73	0,823	0,85	1,065	0,935	1,374
0,10	0,100	0,62	0,663	0,74	0,840	0,86	1,092	0,940	1,403
0,15	0,150	0,63	0,676	0,75	0,857	0,87	1,120	0,945	1,434
0,20	0,200	0,64	0,689	0,76	0,874	0,88	1,151	0,950	1,467
0,25	0,251	0,65	0,703	0,77	0,892	0,89	1,183	0,955	1,504
0,30	0,302	0,66	0,717	0,78	0,911	0,90	1,218	0,960	1,545
0,35	0,354	0,67	0,731	0,79	0,930	0,905	1,237	0,965	1,592
0,40	0,407	0,68	0,746	0,80	0,950	0,910	1,257	0,970	1,645
0,45	0,461	0,69	0,761	0,81	0,971	0,915	1,278	0,975	1,708
0,50	0,517	0,70	0,776	0,82	0,993	0,920	1,300	0,980	1,784
0,55	0,575	0,71	0,791	0,83	1,016	0,925	1,323	0,985	1,882

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)
0,990	2,019	1,10	0,680	1,27	0,400	1,44	0,283	2,1	0,119
0,995	2,250	1,11	0,652	1,28	0,391	1,45	0,278	2,2	0,108
1,000	∞	1,12	0,626	1,29	0,382	1,46	0,273	2,3	0,098
1,005	1,647	1,13	0,602	1,30	0,373	1,47	0,268	2,4	0,090
1,010	1,419	1,14	0,581	1,31	0,365	1,48	0,263	2,5	0,082
1,015	1,291	1,15	0,561	1,32	0,357	1,49	0,259	2,6	0,076
1,020	1,193	1,16	0,542	1,33	0,349	1,50	0,255	2,7	0,070
1,025	1,119	1,17	0,525	1,34	0,341	1,55	0,235	2,8	0,065
1,030	1,061	1,18	0,510	1,35	0,334	1,60	0,218	2,9	0,060
1,035	1,010	1,19	0,495	1,36	0,328	1,65	0,203	3,0	0,056
1,040	1,967	1,20	0,480	1,37	0,322	1,70	0,189	3,5	0,041
1,045	0,929	1,21	0,467	1,38	0,316	1,75	0,177	4,0	0,031
1,05	0,896	1,22	0,454	1,39	0,310	1,80	0,166	4,5	0,025
1,06	0,838	1,23	0,442	1,40	0,304	1,85	0,156	5,0	0,020
1,07	0,790	1,24	0,431	1,41	0,298	1,90	0,147	6,0	0,014
1,08	0,749	1,25	0,420	1,42	0,293	1,95	0,139	8,0	0,009
1,09	0,713	1,26	0,410	1,43	0,288	2,0	0,132	10,0	0,005
Khi số mũ thủy lực x = 3,10									
0	0	0,68	0,742	0,88	1,138	0,990	1,977	1,13	0,562
0,05	0,050	0,69	0,756	0,89	1,169	0,995	2,203	1,14	0,542
0,10	0,100	0,70	0,771	0,90	1,204	1,000	∞	1,15	0,523
0,15	0,150	0,71	0,786	0,905	1,222	1,005	1,572	1,16	0,505
0,20	0,200	0,72	0,801	0,910	1,241	1,010	1,350	1,17	0,489
0,25	0,250	0,73	0,817	0,915	1,261	1,015	1,221	1,18	0,474
0,30	0,301	0,74	0,834	0,920	1,282	1,020	1,130	1,19	0,459
0,35	0,353	0,75	0,851	0,925	1,305	1,025	1,060	1,20	0,445
0,40	0,406	0,76	0,868	0,930	0,329	1,030	1,004	1,21	0,432
0,45	0,460	0,77	0,885	0,935	1,335	1,035	0,956	1,22	0,420
0,50	0,515	0,78	0,903	0,940	1,383	1,040	0,914	1,23	0,409
0,55	0,573	0,79	0,922	0,945	1,412	1,045	0,876	1,24	0,399
0,60	0,634	0,80	0,942	0,950	1,443	1,050	0,844	1,25	0,389
0,61	0,647	0,81	0,962	0,955	1,479	1,06	0,789	1,26	0,379
0,62	0,660	0,82	0,983	0,960	1,519	1,07	0,743	1,27	0,370
0,63	0,673	0,83	1,005	0,965	1,564	1,08	0,704	1,28	0,362
0,64	0,686	0,84	1,029	0,970	1,616	1,09	0,669	1,29	0,354
0,65	0,700	0,85	1,054	0,975	1,677	1,10	0,638	1,30	0,346
0,66	0,714	0,86	0,080	0,980	1,750	1,11	0,610	1,31	0,338
0,67	0,728	0,87	1,108	0,985	1,845	1,12	0,584	1,32	0,330

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)
1,33	0,323	1,42	0,270	1,55	0,213	2,0	0,117	2,9	0,052
1,34	0,316	1,43	0,265	1,60	0,197	2,1	0,104	3,0	0,048
1,35	0,309	1,44	0,260	1,65	0,183	2,2	0,004	3,5	0,034
1,36	0,303	1,45	0,255	1,70	0,170	2,3	0,085	4,0	0,026
1,37	0,297	1,46	0,250	1,75	0,159	2,4	0,077	4,5	0,021
1,38	0,291	1,47	0,245	1,80	0,148	2,5	0,070	5,0	0,016
1,39	0,285	1,48	0,240	1,85	0,139	2,6	0,065	6,0	0,011
1,40	0,280	1,49	0,236	1,90	0,130	2,7	0,060	8,0	0,006
1,41	0,275	1,50	0,232	1,95	0,123	2,8	0,056	10,0	0,004
Khi số mũ thủy lực x = 3,20									
0	0	0,77	0,878	0,980	1,720	1,20	0,416	1,49	0,215
0,05	0,050	0,78	0,896	0,985	1,812	1,21	0,403	1,50	0,211
0,10	0,100	0,79	0,915	0,990	1,940	1,22	0,392	1,55	0,194
0,15	0,150	0,80	0,934	0,995	2,159	1,23	0,381	1,60	0,179
0,20	0,200	0,81	0,954	1,000	∞	1,24	0,371	1,65	0,166
0,25	0,250	0,82	0,975	1,005	1,506	1,25	0,361	1,70	0,154
0,30	0,301	0,83	0,986	1,010	1,291	1,26	0,352	1,75	0,143
0,35	0,353	0,84	1,019	1,015	1,166	1,27	0,343	1,80	0,133
0,40	0,405	0,85	1,043	1,020	1,079	1,28	0,335	1,85	0,126
0,45	0,459	0,86	1,068	1,025	1,011	1,29	0,327	1,90	0,117
0,50	0,514	0,87	1,095	1,030	0,955	1,30	0,319	1,95	0,110
0,55	0,571	0,88	1,124	1,035	0,910	1,31	0,311	2,0	0,104
0,60	0,631	0,89	1,155	1,040	0,858	1,32	0,304	2,1	0,092
0,61	0,644	0,90	1,189	1,045	0,831	1,33	0,297	2,2	0,083
0,62	0,657	0,905	1,206	1,050	0,801	1,34	0,290	2,3	0,075
0,63	0,670	0,910	1,225	1,060	0,778	1,35	0,284	2,4	0,068
0,64	0,683	0,915	1,245	1,07	0,703	1,36	0,278	2,5	0,062
0,65	0,696	0,920	1,266	1,08	0,665	1,37	0,272	2,6	0,057
0,66	0,709	0,925	1,283	1,09	0,631	1,38	0,266	2,7	0,052
0,67	0,723	0,930	1,311	1,10	0,601	1,39	0,261	2,8	0,048
0,68	0,737	0,935	1,336	1,11	0,575	1,40	0,265	2,9	0,044
0,69	0,751	0,940	1,363	1,12	0,551	1,41	0,251	3,0	0,041
0,70	0,766	0,945	1,392	1,13	0,529	1,42	0,246	3,5	0,029
0,71	0,781	0,950	1,423	1,14	0,509	1,43	0,241	4,0	0,022
0,72	0,796	0,955	1,458	1,15	0,490	1,44	0,236	4,5	0,017
0,73	0,812	0,960	1,497	1,16	0,473	1,45	0,231	5,0	0,013
0,74	0,828	0,965	1,540	1,17	0,458	1,46	0,227	6,0	0,009
0,75	0,844	0,970	1,590	1,18	0,443	1,47	0,223	8,0	0,005
0,76	0,861	0,975	1,649	1,19	0,429	1,48	0,219	10,0	0,0025

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)
Khi số mũ thủy lực x = 3,25									
0	0	0,78	0,892	0,990	1,922	1,23	0,368	1,65	0,157
0,05	0,050	0,79	0,911	0,995	2,137	1,24	0,358	1,70	0,145
0,10	0,100	0,80	0,930	1,000	∞	1,25	0,348	1,75	0,135
0,15	0,150	0,81	0,949	1,005	1,477	1,26	0,339	1,80	0,126
0,20	0,200	0,82	0,970	1,010	1,265	1,27	0,330	1,85	0,118
0,25	0,250	0,83	0,992	1,015	1,140	1,28	0,322	1,90	0,111
0,30	0,301	0,84	1,014	1,020	1,053	1,29	0,314	1,95	0,104
0,35	0,352	0,85	1,038	1,025	0,986	1,30	0,306	2,0	0,098
0,40	0,405	0,86	1,063	1,030	0,932	1,31	0,299	2,1	0,087
0,45	0,458	0,87	1,090	1,035	0,886	1,32	0,292	2,2	0,078
0,50	0,513	0,88	1,118	1,040	0,846	1,33	0,285	2,3	0,070
0,55	0,570	0,89	1,148	1,045	0,811	1,34	0,279	2,4	0,064
0,60	0,630	0,90	1,181	1,050	0,780	1,35	0,273	2,5	0,058
0,61	0,642	0,905	1,199	1,060	0,727	1,36	0,267	2,6	0,053
0,62	0,655	0,910	1,218	1,07	0,683	1,37	0,261	2,7	0,048
0,63	0,668	0,915	1,237	1,08	0,646	1,38	0,255	2,8	0,044
0,64	0,681	0,920	1,257	1,09	0,613	1,39	0,250	2,9	0,041
0,65	0,694	0,925	1,279	1,10	0,584	1,40	0,245	3,0	0,038
0,66	0,707	0,930	1,302	1,11	0,558	1,41	0,240	3,5	0,027
0,67	0,721	0,935	1,327	1,12	0,534	1,42	0,235	4,0	0,020
0,68	0,735	0,940	1,354	1,13	0,512	1,43	0,231	4,5	0,015
0,69	0,749	0,945	1,382	1,14	0,493	1,44	0,226	5,0	0,012
0,70	0,763	0,950	1,413	1,15	0,476	1,45	0,222	6,0	0,008
0,71	0,778	0,955	1,447	1,16	0,458	1,46	0,218	7,0	0,005
0,72	0,793	0,960	1,485	1,17	0,443	1,47	0,214	8,0	0,004
0,73	0,808	0,965	1,528	1,18	0,428	1,48	0,210	9,0	0,003
0,74	0,824	0,970	1,577	1,19	0,414	1,49	0,206	10,0	0,002
0,75	0,841	0,975	1,634	1,20	0,401	1,50	0,202		
0,76	0,857	0,980	1,705	1,21	0,389	1,55	0,185		
0,77	0,874	0,985	1,795	1,22	0,378	1,60	0,170		
Khi số mũ thủy lực x = 3,30									
0	0	0,40	0,404	0,64	0,679	0,72	0,791	0,80	0,926
0,05	0,050	0,45	0,458	0,65	0,692	0,73	0,806	0,81	0,945
0,10	0,100	0,50	0,512	0,66	0,705	0,74	0,822	0,82	0,965
0,15	0,150	0,55	0,569	0,67	0,719	0,75	0,838	0,83	0,986
0,20	0,200	0,60	0,629	0,68	0,733	0,76	0,854	0,84	1,008
0,25	0,250	0,61	0,641	0,69	0,747	0,77	0,871	0,85	1,032
0,30	0,301	0,62	0,653	0,70	0,761	0,78	0,889	0,86	1,056
0,35	0,352	0,63	0,666	0,71	0,776	0,79	0,907	0,87	1,082

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)
0,88	1,111	0,995	2,118	1,15	0,461	1,36	0,257	1,85	0,112
0,89	1,141	1,000	∞	1,16	0,445	1,37	0,252	1,90	0,105
0,90	1,174	1,005	1,445	1,17	0,430	1,38	0,247	1,95	0,098
0,905	1,191	1,010	1,237	1,18	0,416	1,39	0,242	2,0	0,092
0,910	1,209	1,015	1,115	1,19	0,402	1,40	0,237	2,1	0,082
0,915	1,229	1,020	1,029	1,20	0,389	1,41	0,232	2,2	0,073
0,920	1,250	1,025	0,964	1,21	0,376	1,42	0,227	2,3	0,066
0,925	1,272	1,030	0,910	1,22	0,365	1,43	0,222	2,4	0,059
0,930	1,295	1,035	0,866	1,23	0,354	1,44	0,218	2,5	0,054
0,935	1,319	1,040	0,826	1,24	0,344	1,45	0,214	2,6	0,049
0,940	1,345	1,045	0,791	1,25	0,335	1,46	0,210	2,7	0,045
0,945	1,374	1,05	0,762	1,26	0,326	1,47	0,206	2,8	0,041
0,950	1,404	1,06	0,710	1,27	0,318	1,48	0,202	2,9	0,038
0,955	1,438	1,07	0,666	1,28	0,310	1,49	0,198	3,0	0,035
0,960	1,476	1,08	0,628	1,29	0,302	1,50	0,194	3,5	0,025
0,965	1,518	1,09	0,596	1,30	0,295	1,55	0,178	4,0	0,018
0,970	1,566	1,10	0,568	1,31	0,288	1,60	0,164	4,5	0,014
0,975	1,623	1,11	0,542	1,32	0,281	1,65	0,151	5,0	0,0107
0,980	1,692	1,12	0,519	1,33	0,275	1,70	0,139	6,0	0,0070
0,985	1,782	1,13	0,498	1,34	0,269	1,75	0,129	8,0	0,0035
0,990	1,906	1,14	0,479	1,35	0,263	1,80	0,120	10,0	0,0018
Khi số mũ thủy lực x = 3,40									
0	0	0,68	0,729	0,88	1,102	0,990	1,873	1,13	0,468
0,05	0,050	0,69	0,743	0,89	1,132	0,995	2,079	1,14	0,449
0,10	0,100	0,70	0,757	0,90	1,163	1,000	∞	1,15	0,432
0,15	0,150	0,71	0,772	0,905	1,180	1,005	1,384	1,16	0,416
0,20	0,200	0,72	0,787	0,910	1,198	1,010	1,184	1,17	0,402
0,25	0,250	0,73	0,802	0,915	1,217	1,015	1,065	1,18	0,388
0,30	0,301	0,74	0,817	0,920	1,237	1,020	0,982	1,19	0,375
0,35	0,352	0,75	0,833	0,925	1,258	1,025	0,919	1,20	0,363
0,40	0,404	0,76	0,849	0,930	1,280	1,030	0,866	1,21	0,351
0,45	0,457	0,77	0,866	0,935	1,303	1,035	0,823	1,22	0,341
0,50	0,511	0,78	0,884	0,940	1,328	1,040	0,785	1,23	0,331
0,55	0,567	0,79	0,902	0,945	1,356	1,045	0,752	1,24	0,321
0,60	0,627	0,80	0,921	0,950	1,385	1,05	0,723	1,25	0,312
0,61	0,639	0,81	0,940	0,955	1,418	1,06	0,672	1,26	0,304
0,62	0,651	0,82	0,960	0,960	1,455	1,07	0,630	1,27	0,296
0,63	0,664	0,83	0,980	0,965	1,496	1,08	0,595	1,28	0,288
0,64	0,677	0,84	1,001	0,970	1,542	1,09	0,563	1,29	0,281
0,65	0,690	0,85	1,024	0,975	1,597	1,10	0,536	1,30	0,274
0,66	0,703	0,86	1,048	0,980	1,664	1,11	0,511	1,31	0,267
0,67	0,716	0,87	1,074	0,985	1,752	1,12	0,488	1,32	0,260

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)
1,33	0,254	1,42	0.207	1,55	0,161	2,0	0,082	2,9	0,033
1,34	0,248	1,43	0,203	1,60	0,148	2,1	0,073	3,0	0,030
1,35	0,242	1,44	0,199	1,65	0,137	2,2	0,065	3,5	0,021
1,36	0,236	1,45	0,195	1,70	0,125	2,3	0,058	4,0	0,015
1,37	0,231	1,46	0,191	1,75	0,116	2,4	0,052	4,5	0,011
1,38	0,226	1,47	0,187	1,80	0,107	2,5	0,047	5,0	0,0086
1,39	0,221	1,48	0,183	1,85	0,100	2,6	0,043	6,0	0,0052
1,40	0,216	1,49	0,180	1,90	0,094	2,7	0,039	8,0	0,0027
1,41	0,211	1,50	0,177	1,95	0,088	2,8	0,036	10,0	0,0010
Khi số mũ thủy lực x = 3,50									
0	0	0,77	0,860	0,980	1,642	1,20	0,341	1,49	0,166
0,05	0,050	0,78	0,877	0,985	1,726	1,21	0,330	1,50	0,163
0,10	0,100	0,79	0,895	0,990	1,844	1,22	0,320	1,55	0,148
0,15	0,150	0,80	0,913	0,995	2,043	1,23	0,310	1,60	0,135
0,20	0,200	0,81	0,932	1,000	∞	1,24	0,301	1,65	0,124
0,25	0,250	0,82	0,952	1,005	1,329	1,25	0,292	1,70	0,114
0,30	0,301	0,83	0,972	1,010	1,138	1,26	0,284	1,75	0,105
0,35	0,352	0,84	0,993	1,015	1,022	1,27	0,276	1,80	0,097
0,40	0,404	0,85	1,016	1,020	0,940	1,28	0,269	1,85	0,090
0,45	0,456	0,86	1,039	1,025	0,879	1,29	0,262	1,90	0,084
0,50	0,510	0,87	1,064	1,030	0,827	1,30	0,255	1,95	0,079
0,55	0,566	0,88	1,091	1,035	0,785	1,31	0,248	2,0	0,074
0,60	0,625	0,89	1,120	1,040	0,748	1,32	0,242	2,1	0,065
0,61	0,637	0,90	1,151	1,045	0,716	1,33	0,236	2,2	0,057
0,62	0,649	0,905	1,168	1,050	0,688	1,34	0,230	2,3	0,051
0,63	0,661	0,910	1,185	1,060	0,639	1,35	0,225	2,4	0,046
0,64	0,674	0,915	1,204	1,07	0,599	1,36	0,219	2,5	0,041
0,65	0,687	0,920	1,233	1,08	0,564	1,37	0,214	2,6	0,037
0,66	0,700	0,925	1,243	1,09	0,534	1,38	0,209	2,7	0,034
0,67	0,713	0,930	1,265	1,10	0,507	1,39	0,205	2,8	0,031
0,68	0,726	0,935	1,288	1,11	0,488	1,40	0,200	2,9	0,028
0,69	0,740	0,940	1,313	1,12	0,461	1,41	0,196	3,0	0,026
0,70	0,754	0,945	1,339	1,13	0,442	1,42	0,192	3,5	0,018
0,71	0,768	0,950	1,368	1,14	0,424	1,43	0,188	4,0	0,012
0,72	0,782	0,955	1,400	1,15	0,407	1,44	0,184	4,5	0,009
0,73	0,797	0,960	1,446	1,16	0,391	1,45	0,180	5,0	0,007
0,74	0,812	0,965	1,476	1,17	0,377	1,46	0,176	6,0	0,004
0,75	0,828	0,970	1,522	1,18	0,364	1,47	0,173	8,0	0,002
0,76	0,844	0,975	1,576	1,19	0,352	1,48	0,169	10,0	0,001

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)
Khi số mũ thủy lực x = 3,60									
0	0	0,77	0,855	0,980	1,616	1,20	0,320	1,49	0,153
0,05	0,050	0,78	0,872	0,985	1,699	1,21	0,310	1,50	0,150
0,10	0,100	0,79	0,889	0,990	1,814	1,22	0,300	1,55	0,135
0,15	0,150	0,80	0,907	0,995	2,008	1,23	0,290	1,60	0,123
0,20	0,200	0,81	0,926	1,000	∞	1,24	0,281	1,65	0,113
0,25	0,250	0,82	0,945	1,005	1,279	1,25	0,273	1,70	0,103
0,30	0,300	0,83	0,965	1,010	1,089	1,26	0,265	1,75	0,095
0,35	0,351	0,84	0,985	1,015	0,978	1,27	0,257	1,80	0,088
0,40	0,403	0,85	1,007	1,020	0,900	1,28	0,250	1,85	0,082
0,45	0,456	0,86	1,030	1,025	0,841	1,29	0,243	1,90	0,076
0,50	0,509	0,87	1,055	1,030	0,790	1,30	0,237	1,95	0,071
0,55	0,565	0,88	1,082	1,035	0,749	1,31	0,231	2,0	0,066
0,60	0,623	0,89	1,111	1,040	0,714	1,32	0,225	2,1	0,058
0,61	0,635	0,90	1,140	1,045	0,684	1,33	0,219	2,2	0,051
0,62	0,647	0,905	1,156	1,050	0,656	1,34	0,214	2,3	0,045
0,63	0,659	0,910	1,173	1,060	0,609	1,35	0,209	2,4	0,040
0,64	0,671	0,915	1,191	1,07	0,569	1,36	0,204	2,5	0,036
0,65	0,684	0,920	1,210	1,08	0,535	1,37	0,199	2,6	0,033
0,66	0,697	0,925	1,230	1,09	0,505	1,38	0,194	2,7	0,030
0,67	0,710	0,930	1,251	1,10	0,480	1,39	0,189	2,8	0,027
0,68	0,723	0,935	1,273	1,11	0,457	1,40	0,185	2,9	0,024
0,69	0,737	0,940	1,297	1,12	0,436	1,41	0,181	3,0	0,0224
0,70	0,751	0,945	1,324	1,13	0,418	1,42	0,177	3,5	0,0150
0,71	0,765	0,950	1,352	1,14	0,400	1,43	0,173	4,0	0,0100
0,72	0,779	0,955	1,383	1,15	0,384	1,44	0,169	4,5	0,0075
0,73	0,793	0,960	1,419	1,16	0,369	1,45	0,165	5,0	0,0057
0,74	0,807	0,965	1,456	1,17	0,356	1,46	0,162	6,0	0,0030
0,75	0,822	0,970	1,501	1,18	0,343	1,47	0,159	8,0	0,0016
0,76	0,838	0,975	1,553	1,19	0,331	1,48	0,156	10,0	0,0008
Khi số mũ thủy lực x = 3,70									
0	0	0,20	0,200	0,40	0,403	0,60	0,621	0,64	0,669
0,05	0,050	0,25	0,250	0,45	0,455	0,61	0,633	0,65	0,682
0,10	0,100	0,30	0,300	0,50	0,508	0,62	0,645	0,66	0,695
0,15	0,150	0,35	0,351	0,55	0,563	0,63	0,657	0,67	0,708

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)
0,68	0,721	0,915	1,181	1,040	0,682	1,28	0,233	1,65	0,103
0,69	0,734	0,920	1,199	1,045	0,652	1,29	0,227	1,70	0,094
0,70	0,748	0,925	1,218	1,05	0,625	1,30	0,221	1,75	0,086
0,71	0,762	0,930	1,238	1,06	0,580	1,31	0,215	1,80	0,079
0,72	0,776	0,935	1,259	1,07	0,542	1,32	0,209	1,85	0,073
0,73	0,790	0,940	1,282	1,08	0,510	1,33	0,204	1,90	0,068
0,74	0,804	0,945	1,308	1,09	0,481	1,34	0,199	1,95	0,063
0,75	0,819	0,950	1,336	1,10	0,456	1,35	0,194	2,0	0,058
0,76	0,834	0,955	1,365	1,11	0,433	1,36	0,189	2,1	0,051
0,77	0,850	0,960	1,400	1,12	0,412	1,37	0,184	2,2	0,045
0,78	0,867	0,965	1,437	1,13	0,394	1,38	0,180	2,3	0,040
0,79	0,884	0,970	1,482	1,14	0,377	1,39	0,176	2,4	0,036
0,80	0,902	0,975	1,533	1,15	0,361	1,40	0,172	2,5	0,032
0,81	0,920	0,980	1,595	1,16	0,348	1,41	0,168	2,6	0,029
0,82	0,939	0,985	1,676	1,17	0,335	1,42	0,164	2,7	0,026
0,83	0,959	0,990	1,788	1,18	0,323	1,43	0,160	2,8	0,024
0,84	0,979	0,995	1,975	1,19	0,312	1,44	0,156	2,9	0,022
0,85	1,000	1,000	∞	1,20	0,301	1,45	0,153	3,0	0,0193
0,86	1,022	1,005	1,231	1,21	0,291	1,46	0,150	3,5	0,0127
0,87	1,047	1,010	1,046	1,22	0,281	1,47	0,147	4,0	0,0086
0,88	1,073	1,015	0,938	1,23	0,272	1,48	0,144	4,5	0,0063
0,89	1,101	1,020	0,862	1,24	0,264	1,49	0,141	5,0	0,0047
0,90	1,130	1,025	0,806	1,25	0,256	1,50	0,138	6,0	0,0028
0,905	1,146	1,030	0,756	1,26	0,248	1,55	0,124	8,0	0,0013
0,910	1,163	1,035	0,716	1,27	0,240	1,60	0,113	10,0	0,0017
Khi số mũ thủy lực x = 3,75									
0	0	0,60	0,620	0,72	0,773	0,84	0,975	0,930	1,232
0,05	0,050	0,61	0,632	0,73	0,787	0,85	0,997	0,935	1,254
0,10	0,100	0,62	0,644	0,74	0,802	0,86	1,020	0,940	1,278
0,15	0,150	0,63	0,656	0,75	0,817	0,87	1,044	0,945	1,304
0,20	0,200	0,64	0,668	0,76	0,833	0,88	1,069	0,950	1,331
0,25	0,250	0,65	0,681	0,77	0,849	0,89	1,096	0,955	1,361
0,30	0,300	0,66	0,693	0,78	0,865	0,90	1,126	0,960	1,394
0,35	0,351	0,67	0,706	0,79	0,882	0,905	1,142	0,965	1,431
0,40	0,403	0,68	0,719	0,80	0,899	0,910	1,158	0,970	1,474
0,45	0,456	0,69	0,732	0,81	0,917	0,915	1,175	0,975	1,524
0,50	0,508	0,70	0,746	0,82	0,936	0,920	1,193	0,980	1,586
0,55	0,563	0,71	0,759	0,83	0,955	0,925	1,212	0,985	1,665

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)
0,990	1,776	1,10	0,444	1,27	0,233	1,44	0,151	2,1	0,048
0,995	1,965	1,11	0,422	1,28	0,226	1,45	0,147	2,2	0,042
1,000	∞	1,12	0,402	1,29	0,220	1,46	0,144	2,3	0,037
1,005	1,216	1,13	0,384	1,30	0,214	1,47	0,141	2,4	0,033
1,010	1,031	1,14	0,368	1,31	0,208	1,48	0,138	2,5	0,030
1,015	0,922	1,15	0,353	1,32	0,203	1,49	0,135	2,6	0,027
1,020	0,847	1,16	0,339	1,33	0,197	1,50	0,132	2,7	0,024
1,025	0,789	1,17	0,326	1,34	0,192	1,55	0,119	2,8	0,022
1,030	0,742	1,18	0,314	1,35	0,187	1,60	0,108	2,9	0,020
1,035	0,702	1,19	0,302	1,36	0,183	1,65	0,098	3,0	0,0178
1,040	0,668	1,20	0,292	1,37	0,178	1,70	0,090	3,5	0,0117
1,045	0,638	1,21	0,282	1,38	0,174	1,75	0,083	4,0	0,0080
1,050	0,612	1,22	0,272	1,39	0,169	1,80	0,076	4,5	0,0058
1,06	0,566	1,23	0,263	1,40	0,165	1,85	0,070	5,0	0,0043
1,07	0,529	1,24	0,255	1,41	0,161	1,90	0,065	6,0	0,0026
1,08	0,497	1,25	0,247	1,42	0,158	1,95	0,060	8,0	0,0012
1,09	0,469	1,26	0,240	1,43	0,154	2,0	0,056	10,0	0,0006
Khi số mũ thủy lực x = 3,80									
0	0	0,68	0,718	0,88	1,064	0,990	1,761	1,13	0,374
0,05	0,050	0,69	0,731	0,89	1,091	0,995	1,965	1,14	0,358
0,10	0,100	0,70	0,744	0,90	1,120	1,000	∞	1,15	0,343
0,15	0,150	0,71	0,758	0,905	1,136	1,005	1,188	1,16	0,329
0,20	0,200	0,72	0,772	0,910	1,152	1,010	1,007	1,17	0,317
0,25	0,250	0,73	0,786	0,915	1,160	1,015	0,902	1,18	0,305
0,30	0,300	0,74	0,800	0,920	1,187	1,020	0,828	1,19	0,294
0,35	0,351	0,75	0,815	0,925	1,206	1,025	0,773	1,20	0,283
0,40	0,402	0,76	0,830	0,930	1,226	1,030	0,725	1,21	0,273
0,45	0,454	0,77	0,846	0,935	1,247	1,035	0,686	1,22	0,264
0,50	0,507	0,78	0,862	0,940	1,270	1,040	0,653	1,23	0,256
0,55	0,562	0,79	0,879	0,945	1,295	1,045	0,623	1,24	0,248
0,60	0,620	0,80	0,896	0,950	1,322	1,05	0,597	1,25	0,240
0,61	0,631	0,81	0,914	0,955	1,350	1,06	0553	1,26	0,233
0,62	0,643	0,82	0,932	0,960	1,385	1,07	0,516	1,27	0,226
0,63	0,655	0,83	0,952	0,965	1,422	1,08	0,485	1,28	0,219
0,64	0,667	0,84	0,972	0,970	1,464	1,09	0,457	1,29	0,213
0,65	0,679	0,85	0,993	0,975	1,514	1,10	0,433	1,30	0,207
0,66	0,692	0,86	1,015	0,980	1,574	1,11	0,411	1,31	0,201
0,67	0,705	0,87	1,039	0,985	1,652	1,12	0,392	1,32	0,196

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)
1,33	0,191	1,42	0,152	1,55	0,114	2,0	0,053	2,9	0,018
1,34	0,186	1,43	0,149	1,60	0,103	2,1	0,046	3,0	0,012
1,35	0,181	1,44	0,145	1,65	0,094	2,2	0,040	3,5	0,0107
1,36	0,176	1,45	0,142	1,70	0,086	2,3	0,035	4,0	0,0072
1,37	0,172	1,46	0,139	1,75	0,079	2,4	0,031	4,5	0,0053
1,38	0,168	1,47	0,136	1,80	0,072	2,5	0,028	5,0	0,0040
1,39	0,164	1,48	0,133	1,85	0,067	2,6	0,025	6,0	0,0022
1,40	0,160	1,49	0,130	1,90	0,062	2,7	0,022	8,0	0,0011
1,41	0,156	1,50	0,127	1,95	0,057	2,8	0,020	10,0	0,0005
Khi số mũ thủy lực x = 3,90									
0	0	0,77	0,842	0,980	1,555	1,20	0,267	1,49	0,119
0,05	0,050	0,78	0,858	0,985	1,631	1,21	0,257	1,50	0,117
0,10	0,100	0,79	0,874	0,990	1,737	1,22	0,248	1,55	0,104
0,15	0,150	0,80	0,891	0,995	1,916	1,23	0,240	1,60	0,094
0,20	0,200	0,81	0,908	1,000	∞	1,24	0,232	1,65	0,085
0,25	0,250	0,82	0,926	1,005	1,146	1,25	0,225	1,70	0,077
0,30	0,300	0,83	0,945	1,010	0,970	1,26	0,218	1,75	0,070
0,35	0,351	0,84	0,965	1,015	0,868	1,27	0,212	1,80	0,064
0,40	0,402	0,85	0,985	1,020	0,796	1,28	0,206	1,85	0,059
0,45	0,454	0,86	1,007	1,025	0,742	1,29	0,200	1,90	0,054
0,50	0,507	0,87	1,030	1,030	0,696	1,30	0,194	1,95	0,050
0,55	0,562	0,88	1,065	1,035	0,658	1,31	0,189	2,0	0,047
0,60	0,619	0,89	1,082	1,040	0,626	1,32	0,184	2,1	0,040
0,61	0,630	0,90	1,111	1,045	0,598	1,33	0,179	2,2	0,035
0,62	0,642	0,905	1,126	1,050	0,573	1,34	0,174	2,3	0,031
0,63	0,654	0,910	1,142	1,060	0,530	1,35	0,169	2,4	0,027
0,64	0,666	0,915	1,159	1,07	0,494	1,36	0,164	2,5	0,024
0,65	0,678	0,920	1,177	1,08	0,463	1,37	0,160	2,6	0,021
0,66	0,690	0,925	1,196	1,09	0,436	1,38	0,156	2,7	0,019
0,67	0,703	0,930	1,215	1,10	0,412	1,39	0,152	2,8	0,017
0,68	0,716	0,935	1,236	1,11	0,392	1,40	0,148	2,9	0,015
0,69	0,729	0,940	1,158	1,12	0,373	1,41	0,144	3,0	0,0143
0,70	0,742	0,945	1,282	1,13	0,356	1,42	0,140	3,5	0,0099
0,71	0,756	0,950	1,309	1,14	0,340	1,43	0,137	4,0	0,0060
0,72	0,770	0,955	1,337	1,15	0,325	1,44	0,134	4,5	0,0045
0,73	0,784	0,960	1,370	1,16	0,312	1,45	0,131	5,0	0,0033
0,74	0,798	0,965	1,406	1,17	0,299	1,46	0,128	6,0	0,0019
0,75	0,812	0,970	1,447	1,18	0,288	1,47	0,125	8,0	0,0009
0,76	0,827	0,975	1,496	1,19	0,277	1,48	0,122	10,0	0,0004

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)
Khi số mũ thủy lực x = 4,000									
0	0	0,77	0,838	0,980	1,537	1,20	0,252	1,49	0,111
0,05	0,050	0,78	0,854	0,985	1,611	1,21	0,243	1,50	0,109
0,10	0,100	0,79	0,870	0,990	1,714	1,22	0,235	1,55	0,097
0,15	0,150	0,80	0,887	0,995	1,889	1,23	0,227	1,60	0,087
0,20	0,200	0,81	0,904	1,000	∞	1,24	0,219	1,65	0,079
0,25	0,250	0,82	0,922	1,005	1,107	1,25	0,212	1,70	0,072
0,30	0,300	0,83	0,940	1,010	0,936	1,26	0,205	1,75	0,066
0,35	0,351	0,84	0,960	1,015	0,836	1,27	0,199	1,80	0,060
0,40	0,402	0,85	0,980	1,020	0,766	1,28	0,193	1,85	0,055
0,45	0,454	0,86	1,002	1,025	0,712	1,29	0,187	1,90	0,050
0,50	0,507	0,87	1,025	1,030	0,668	1,30	0,182	1,95	0,046
0,55	0,561	0,88	1,049	1,035	0,632	1,31	0,176	2,0	0,043
0,60	0,617	0,89	1,075	1,040	0,600	1,32	0,171	2,1	0,037
0,61	0,628	0,90	1,103	1,045	0,572	1,33	0,167	2,2	0,032
0,62	0,640	0,905	1,118	1,050	0,548	1,34	0,162	2,3	0,0279
0,63	0,652	0,910	1,134	1,060	0,506	1,35	0,158	2,4	0,0246
0,64	0,664	0,915	1,150	1,07	0,471	1,36	0,153	2,5	0,0216
0,65	0,678	0,920	1,167	1,08	0,441	1,37	0,149	2,6	0,0192
0,66	0,688	0,925	1,185	1,09	0,415	1,38	0,145	2,7	0,0171
0,67	0,700	0,930	1,204	1,10	0,392	1,39	0,142	2,8	0,0153
0,68	0,713	0,935	1,225	1,11	0,372	1,40	0,138	2,9	0,0137
0,69	0,726	0,940	1,247	1,12	0,354	1,41	0,135	3,0	0,0123
0,70	0,739	0,945	1,271	1,13	0,337	1,42	0,131	3,5	0,0077
0,71	0,752	0,950	1,297	1,14	0,322	1,43	0,128	4,0	0,0052
0,72	0,766	0,955	1,325	1,15	0,308	1,44	0,125	4,5	0,0037
0,73	0,780	0,960	1,356	1,16	0,295	1,45	0,122	5,0	0,0027
0,74	0,794	0,965	1,391	1,17	0,283	1,46	0,119	6,0	0,0015
0,75	0,808	0,970	1,431	1,18	0,272	1,47	0,116	8,0	0,0007
0,76	0,823	0,975	1,479	1,19	0,262	1,48	0,113	10,0	0,0003
Khi số mũ thủy lực x = 4,50									
0	0	0,20	0,200	0,40	0,401	0,60	0,611	0,64	0,657
0,05	0,050	0,25	0,250	0,45	0,452	0,61	0,622	0,65	0,668
0,10	0,100	0,30	0,300	0,50	0,534	0,62	0,634	0,66	0,680
0,15	0,150	0,35	0,350	0,55	0,556	0,63	0,645	0,67	0,692

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)
0,68	0,704	0,915	1,109	1,040	0,495	1,28	0,142	1,65	0,052
0,69	0,716	0,920	1,124	1,045	0,470	1,29	0,137	1,70	0,047
0,70	0,728	0,925	1,141	1,05	0,448	1,30	0,133	1,75	0,042
0,71	0,741	0,930	1,158	1,06	0,411	1,31	0,149	1,80	0,038
0,72	0,754	0,935	1,177	1,07	0,381	1,32	0,125	1,85	0,034
0,73	0,767	0,940	1,197	1,08	0,355	1,33	0,121	1,90	0,031
0,74	0,780	0,945	1,218	1,09	0,332	1,34	0,117	1,95	0,028
0,75	0,794	0,950	1,241	1,10	0,312	1,35	0,113	2,0	0,026
0,76	0,808	0,955	1,267	1,11	0,294	1,36	0,110	2,1	0,0217
0,77	0,822	0,960	1,295	1,12	0,279	1,37	0,107	2,2	0,0184
0,78	0,837	0,965	1,327	1,13	0,265	1,38	0,104	2,3	0,0157
0,79	0,852	0,970	1,363	1,14	0,252	1,39	0,101	2,4	0,0135
0,80	0,867	0,975	1,405	1,15	0,240	1,40	0,098	2,5	0,0117
0,81	0,883	0,980	1,457	1,16	0,229	1,41	0,095	2,6	0,0102
0,82	0,900	0,985	1,523	1,17	0,218	1,42	0,092	2,7	0,0089
0,83	0,917	0,990	1,615	1,18	0,209	1,43	0,090	2,8	0,0078
0,84	0,935	0,995	1,771	1,19	0,200	1,44	0,087	2,9	0,0069
0,85	0,954	1,000	∞	1,20	0,192	1,45	0,085	3,0	0,0061
0,86	0,974	1,005	0,954	1,21	0,182	1,46	0,083	3,5	0,0036
0,87	0,995	1,010	0,792	1,22	0,178	1,47	0,081	4,0	0,0022
0,88	1,017	1,015	0,703	1,23	0,171	1,48	0,079	4,5	0,0015
0,89	1,040	1,020	0,641	1,24	0,164	1,49	0,077	5,0	0,0010
0,90	1,066	1,025	0,594	1,25	0,158	1,50	0,075	6,0	0,0005
0,905	1,080	1,030	0,555	1,26	0,153	1,55	0,066	8,0	0,0002
0,910	1,094	1,035	0,522	1,27	0,147	1,60	0,058	10,0	0,0001
Khi số mũ thủy lực x = 5,00									
0	0	0,60	0,608	0,72	0,746	0,84	0,918	0,930	1,124
0,05	0,050	0,61	0,619	0,73	0,759	0,85	0,936	0,935	1,141
0,10	0,100	0,62	0,630	0,74	0,772	0,86	0,954	0,940	1,159
0,15	0,150	0,63	0,641	0,75	0,785	0,87	0,973	0,945	1,179
0,20	0,200	0,64	0,652	0,76	0,798	0,88	0,994	0,950	1,200
0,25	0,250	0,65	0,664	0,77	0,811	0,89	1,016	0,955	1,223
0,30	0,300	0,66	0,675	0,78	0,825	0,90	1,039	0,960	1,248
0,35	0,350	0,67	0,687	0,79	0,839	0,905	1,052	0,965	1,277
0,40	0,401	0,68	0,694	0,80	0,854	0,910	1,065	0,970	1,310
0,45	0,452	0,69	0,710	0,81	0,869	0,915	1,079	0,975	1,349
0,50	0,503	0,70	0,722	0,82	0,885	0,920	1,093	0,980	1,395
0,55	0,555	0,71	0,734	0,83	0,901	0,925	1,108	0,985	1,456

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)	η	φ (η)
0,990	1,539	1,10	0,254	1,27	0,113	1,44	0,063	2,1	0,0130
0,995	1,680	1,11	0,239	1,28	0,108	1,45	0,061	2,2	0,0108
1,000	∞	1,12	0,225	1,29	0,104	1,46	0,059	2,3	0,0090
1,005	0,826	1,13	0,212	1,30	0,100	1,47	0,057	2,4	0,0076
1,010	0,681	1,14	0,201	1,31	0,097	1,48	0,056	2,5	0,0064
1,015	0,602	1,15	0,191	1,32	0,094	1,49	0,054	2,6	0,0055
1,020	0,547	1,16	0,181	1,33	0,090	1,50	0,053	2,7	0,0047
1,025	0,504	1,17	0,173	1,34	0,087	1,55	0,046	2,8	0,0041
1,030	0,469	1,18	0,165	1,35	0,084	1,60	0,040	2,9	0,0035
1,035	0,440	1,19	0,157	1,36	0,081	1,65	0,035	3,0	0,0031
1,040	0,415	1,20	0,150	1,37	0,079	1,70	0,0309	3,5	0,0016
1,045	0,393	1,21	0,144	1,38	0,076	1,75	0,0274	4,0	0,0010
1,050	0,374	1,22	0,138	1,39	0,074	1,80	0,0244	4,5	0,0006
1,06	0,342	1,23	0,132	1,40	0,071	1,85	0,0218	5,0	0,0004
1,07	0,315	1,24	0,127	1,41	0,069	1,90	0,0195	6,0	0,0002
1,08	0,291	1,25	0,122	1,42	0,067	1,95	0,0175	8,0	0,0001
1,09	0,272	1,26	0,117	1,43	0,065	2,0	0,0158	10,0	0,0000

Trong thực tế khi tính đại lượng $j_{tb} = \frac{\alpha C^2 i}{g} \frac{B}{\chi}$ hoặc lấy α, B, C bằng các trị số ứng độ sâu trung bình $h_{tb} = \frac{h_2 + h_1}{2}$ của đoạn đã cho, hoặc lấy $C = \frac{C_2 + C_1}{2}$; $B = \frac{B_2 + B_1}{2}$ và $\chi = \frac{\chi_2 + \chi_1}{2}$ và cuối cùng hoặc là giả thiết $j_{tb} = \frac{j_1 + j_2}{2}$.

Việc chọn trình tự này hay trình tự khác để tính j_{tb} xuất phát từ quan điểm đơn giản hóa tính toán trong điều kiện cụ thể. Nếu phải xác định độ sâu h_1 khi cho h_2 và l (hoặc h_2 khi cho h_1 và l), thì j_{tb} tính toán bằng cách giả định h_{tb}, trong đó nếu thấy rằng sau khi tính được h_1 mà trị số trung bình $\frac{h_2 + h_1}{2}$ không bằng trị số giả định h_{tb} thì phải tính lại.

Muốn xác định hàm φ(η) theo bảng 9.3 thì trước hết phải tính số mũ thủy lực x theo công thức (9-19) hoặc theo đồ thị 9-15. Sau đó theo bảng của hàm φ(η) ta lấy trị số hàm φ(η) ứng với trị số x nào lớn gần nhất hoặc bé hơn gần nhất so với trị số của nó. Việc nội suy φ(η) theo hai giá trị số mũ thủy lực x kề nhau [tức trị số φ(η) lấy từ hai bảng kề nhau] chỉ áp dụng trong trường hợp đặc biệt, tức là lúc tính toán đòi hỏi với độ chính xác cao.

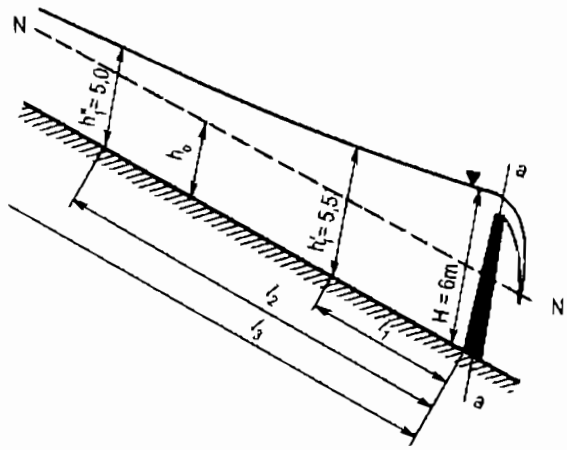
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Khi xác định chiều dài đường nước dâng (hoặc hạ) cần nhớ là, theo lí thuyết, chúng bằng vô cực, vì vậy trong thực tế để xác định chỗ bắt đầu đường nước dâng (hoặc hạ) ta phải giả thiết cho một đoạn $\Delta h = h - h_o$ là trị số có thể bỏ qua trong từng trường hợp cụ thể. Xác định l trong trường hợp đó phải tiến hành theo phương trình (9-20), trong đó thay số hạng h_1 (hoặc h_2 tùy theo trường hợp bài toán) bằng $h_1 = h_o \mp \Delta h$ (dấu "+" ứng với đường nước dâng khi $h > h_o$ và dấu "–" ứng với đường nước hạ khi $h < h_o$ theo hình 9.2).

Thí dụ: Vẽ đường nước dâng của một kênh rộng (b >> h) mặt cắt hình chữ nhật với các điều kiện sau: lưu lượng đơn vị q = 6,22 m^2/s; độ dốc đáy i = 0,0004; n = 0,02 (hình 9.16a).

Ở tuyến (a-a) thiết kế một công trình dâng nước với chiều sâu ở thượng lưu H = 6m.



Hình 9.16a

Giải:

1- Xác định chiều sâu bình thường h_o bằng công thức Sêzi và giả thiết:

$$q = h_o C_o \sqrt{R_o i} = h_o \frac{1}{n} h_o^{1/6} \sqrt{h_o i}$$

lúc đó có:

$$h_o = \left(\frac{qn}{\sqrt{i}}\right)^{0,6} = \left(\frac{6,22.0,02}{\sqrt{0,0004}}\right)^{0,6}$$

Lấy lôga ta được: $h_o = 3,0m$

2- Tính khoảng cách l_1, l_2... kể từ công trình dâng nước (tuyến a - a). tại đó $h_2 = H$, đến các tuyến có độ sâu tương ứng bằng $h_1^I = 5,5m$; $h_1^{II} = 5m$; $h_1^{III} = 4,5m$; $h_1^{IV} = 4,0m$; ...

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Tính toán tiến hành theo công thức:

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

Ta xác định độ dài l_1 của đoạn thứ nhất, tức là khoảng cách từ công trình dâng nước đến tuyến gần nhất 1-1, nơi có độ sâu $h_1 = 5,5$m.

Lần lượt ta tính:

a) Tỉ số $\frac{h_o}{i} = \frac{3,00}{0,0004} = 7500\,m$

b) Chiều sâu tương đối:

$$\eta_2 = \frac{h_2}{h_o} = \frac{6,0}{3,0} = 2; \qquad \eta_1 = \frac{h_1}{h_o} = \frac{5,5}{3} = 1,83$$

c) Sau đó để xác định được giá trị hàm số $\varphi(\eta_2)$ và $\varphi(\eta_1)$ theo bảng 9.3, ta phải sơ bộ xác định số mũ thủy lực x.

Trong trường hợp này, đối với kênh chữ nhật có bề rộng lớn b >> h ta lấy C theo công thức Maninh $C = \frac{1}{n}R^{1/6}$ và giả thiết R = h. Ta tìm được theo tỉ số:

$$\left(\frac{K_2}{K_1}\right)^2 = \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^x$$

Kết quả tính toán cho ta x = 10/3 = 3,33.

Lấy trị số gần nhất trong bảng là x = 3,30 (xem bảng 9.3). Khi đó theo bảng 9.3, ứng với x = 3,30 ta được $\varphi(\eta_2) = \varphi(2) = 0,092$;

$$\varphi(\eta_1) = \varphi(1,83) = 0,12 - \frac{0,120 - 0,112}{2}\cdot 3$$
$$= 0,120 - 0,0048 = 0,1152$$

d) Tính j_{tb} theo:

$$j_{tb} = \frac{\alpha C_{tb}^2 i}{g} = \frac{1,10.0,0004}{9,81}\left(\frac{67,50 + 66,40}{2}\right)^2$$
$$= 0,0000445.4480 = 0,199$$

Khi đó ta được:

$$l_1 = 7500.[2,0 - 1,83 - (1 - 0,199).(0,092 - 0,1152)] = 1470m$$

Các tính toán tiếp theo tiến hành trên bảng:

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Thứ tự khu vực	$\frac{h_o}{i}$	h_1	η_2	η_1	$j_{tb} = \frac{\alpha C_{tb}^2 i}{g} = 0,0000445 C_{tb}^2$	C_{tb}	$\varphi(\eta_2)$	$\varphi(\eta_1)$	l, (m)
I	7500	5,5	2	$\frac{5,50}{3,0} = 1,83$	0,199	66,90	0,092	0,1152	1470
II	7500	5,0	2	$\frac{5,0}{3,0} = 1,67$	0,197	66,50	0,092	0,1558	2860
III	7500	4,5	2	$\frac{4,5}{3,0} = 1,5$	0,193	65,90	0,092	0,194	4370
IV	7500	4,0	2	$\frac{4,0}{3,0} = 1,33$	0,189	65,25	0,092	0,275	6130
V	7500	3,5	2	$\frac{3,5}{3,0} = 1,167$	0,185	64,5	0.092	0,430	8300

Bằng các giá trị l_1, l_2, l_3 ... trong bảng với các chiều sâu $h_1^I = 5,5m$, $h_1^{II} = 5,0m$, ... tìm được như trên, ta vẽ đường nước dâng.

2. Kênh có đáy i = 0

Phương trình tính toán có dạng:

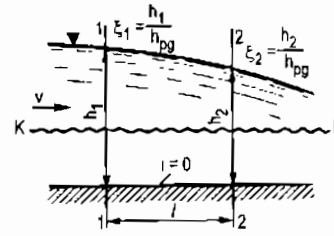
$$\frac{i_{pg} l}{h_{pg}} = j_{pg.tb}(\xi_2 - \xi_1) - \frac{\xi_2^{x+1} - \xi_1^{x+1}}{x+1} \qquad (9\text{-}21)$$

trong đó:

i_{pg} - độ dốc phân giới của kênh đã cho ứng với lưu lượng cho trước;

h_{pg} - độ sâu phân giới;

$j_{pg.tb} = \frac{\alpha C^2 . i_{pg} . B}{g\chi}$ - cũng giống như ở phương trình (9-20) là giá trị trung bình trên đoạn kênh này;



Hình 9.17

ξ_2 và ξ_1 lần lượt bằng h_2/h_{pg} và h_1/h_{pg} của mặt cắt 2-2 và 1-1 (hình 9.17);

x - số mũ thủy lực. Khi $j_{pg.tb} \cong 1,00$, phương trình (9-21) có dạng đơn giản hơn:

$$\frac{i_{pg} l}{h_{pg}} = \xi_2 - \xi_1 - \frac{\xi_2^{x+1} - \xi_1^{x+1}}{x+1} \qquad (9\text{-}22)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

còn đối với lòng dẫn có bề rộng lớn khi số mũ thủy lực x = 3,00, thì phương trình này có dạng:

$$\frac{i_{pg} l}{h_{pg}} = \xi_2 - \xi_1 - \frac{1}{4}(\xi_2^4 - \xi_1^4) \qquad (9\text{-}23)$$

Để tính toán theo phương trình trên có thể không cần dùng bảng, đặc biệt giản đơn là trường hợp phương trình (9.23). Để giảm nhẹ tính toán có thể viết phương trình (9-21) dưới dạng:

$$\frac{i_{pg} l}{h_{pg}} = j_{pg.tb}(\xi_2 - \xi_1) - [\varphi(\xi_2) - \varphi(\xi_1)] \qquad (9\text{-}24)$$

trong đó: $\varphi(\xi) = \frac{\xi^{x+1}}{x+1} + C$ và lúc đó cần phải dùng bảng 9.4.

Bảng 9.4. Các giá trị của hàm φ(ξ) của lòng dẫn có độ dốc đáy nằm ngang (i = 0)

ξ	φ (ξ)	ξ	φ (ξ)	ξ	φ (ξ)	ξ	φ (ξ)	ξ	φ (ξ)
Khi số mũ thủy lực x = 2,00									
0	0	0,68	0,1048	0,88	0,2272	1,08	0,420	1,28	0,699
0,05	0,0001	0,69	0,1095	0,89	0,2350	1,09	0,432	1,29	0,716
0,10	0,0003	0,70	0,1143	0,90	0,2430	1,10	0,444	1,30	0,732
0,15	0,0011	0,71	0,1193	0,91	0,2512	1,11	0,456	1,31	0,749
0,20	0,0027	0,72	0,1244	0,92	0,2596	1,12	0,468	1,32	0,767
0,25	0,0052	0,73	0,1297	0,93	0,2681	1,13	0,481	1,33	0,784
0,30	0,0090	0,74	0,1351	0,94	0,2769	1,14	0,493	1,34	0,802
0,35	0,0143	0,75	0,1406	0,95	0,2858	1,15	0,507	1,35	0,820
0,40	0,0213	0,76	0,1463	0,96	0,2949	1,16	0,520	1,36	0,839
0,45	0,0304	0,77	0,1522	0,97	0,3042	1,17	0,534	1,37	0,857
0,50	0,0417	0,78	0,1582	0,98	0,3137	1,18	0,548	1,38	0,876
0,55	0,0554	0,79	0,1643	0,99	0,3234	1,19	0,562	1,39	0,895
0,60	0,0720	0,80	0,1707	1,00	0,3333	1,20	0,576	1,40	0,915
0,61	0,0756	0,81	0,1772	1,01	0,3434	1,21	0,591	1,41	0,934
0,62	0,0794	0,82	0,1838	1,02	0,3537	1,22	0,605	1,42	0,954
0,63	0,0833	0,83	0,1906	1,03	0,3643	1,23	0,620	1,43	0,975
0,64	0,0874	0,84	0,1976	1,04	0,375	1,24	0,635	1,44	0,995
0,65	0,0915	0,85	0,2047	1,05	0,386	1,25	0,651	1,45	1,016
0,66	0,0958	0,86	0,2120	1,06	0,397	1,26	0,667	1,46	1,037
0,67	0,1003	0,87	0,2195	1,07	0,408	1,27	0,683	1,47	1,059

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

ξ	φ (ξ)	ξ	φ (ξ)	ξ	φ (ξ)	ξ	φ (ξ)	ξ	φ (ξ)
1,48	1,081	1,70	1,638	1,94	2,434	2,45	4,902	3,5	14,19
1,49	1,013	1,72	1,696	1,96	2,510	2,50	5,208	4,0	21,33
1,50	1,125	1,74	1,756	1,98	2,587	2,55	5,527	4,5	30,38
1,52	1,170	1,76	1,817	2,00	2,667	2,60	5,859	5,0	41,67
1,54	1,217	1,78	1,880	2,05	2,872	2,65	6,203	6,0	72,0
1,56	1,265	1,80	1,944	2,10	3,087	2,70	6,561	7,0	114,3
1,58	1,315	1,82	2,009	2,15	3,313	2,75	6,932	8,0	170,7
1,60	1,365	1,84	2,076	2,20	3,459	2,80	7,317	9,0	242,0
1,62	1,417	1,86	2,145	2,25	3,797	2,85	7,716	10,0	333,3
1,64	1,470	1,88	2,215	2,30	4,056	2,90	8,130		
1,66	1,525	1,90	2,286	2,35	4,326	2,95	8,557		
1,68	1,581	1,92	2,359	2,40	4,608	3,0	9,000		
Khi số mũ thủy lực x = 2,50									
0	0	0,72	0,0905	0,96	0,2477	1,20	0,541	1,44	1,024
0,05	0,0	0,73	0,0950	0,97	0,2568	1,21	0,557	1,45	1,049
0,10	0,0001	0,74	0,0996	0,98	0,2662	1,22	0,573	1,46	1,074
0,15	0,0004	0,75	0,1044	0,99	0,276	1,23	0,573	1,47	1,100
0,20	0,0010	0,76	0,1093	1,00	0,286	1,24	0,607	1,48	1,127
0,25	0,0022	0,77	0,1144	1,01	0,296	1,25	0,624	1,49	1,154
0,30	0,0042	0,78	0,1197	1,02	0,306	1,26	0,645	1,50	1,181
0,35	0,0073	0,79	0,1252	1,03	0,317	1,27	0,660	1,52	1,237
0,40	0,0116	0,80	0,1309	1,04	0,328	1,28	0,678	1,54	1,295
0,45	0,0175	0,81	0,1367	1,05	0,339	1,29	0,697	1,56	1,355
0,50	0,0252	0,82	0,1426	1,06	0,350	1,30	0,716	1,58	1,417
0,55	0,0352	0,83	0,1488	1,07	0,362	1,31	0,735	1,60	1,481
0,60	0,0478	0,84	0,1552	1,08	0,374	1,32	0,775	1,62	1,546
0,61	0,0506	0,85	0,1618	1,09	0,386	1,33	0,785	1,64	1,614
0,62	0,0506	0,86	0,1685	1,10	0,399	1,34	0,796	1,66	1,684
0,63	0,0567	0,87	0,1755	1,11	0,412	1,35	0,817	1,68	1,756
0,64	0,0599	0,88	0,1826	1,12	0,425	1,36	0,838	1,70	1,830
0,65	0,0632	0,89	0,1900	1,13	0,438	1,37	0,860	1,72	1,907
0,66	0,0667	0,90	0,1976	1,14	0,452	1,38	0,882	1,74	1,936
0,67	0,0703	0,91	0,2054	1,15	0,466	1,39	0,905	1,76	2,067
0,68	0,0740	0,92	0,2134	1,16	0,480	1,40	0,928	1,78	2,150
0,69	0,0779	0,93	0,2216	1,17	0,495	1,41	0,951	1,80	2,236
0,70	0,0820	0,94	0,2301	1,18	0,510	1,42	0,975	1,82	2,324
0,71	0,0861	0,95	0,2388	1,19	0,525	1,43	0,999	1,84	2,414

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

ξ	φ (ξ)	ξ	φ (ξ)	ξ	φ (ξ)	ξ	φ (ξ)	ξ	φ (ξ)
1,86	2,507	2,05	3,524	2,45	6,577	2,85	11,17	6,0	151,2
1,88	2,603	2,10	3,834	2,50	7,059	2,90	11,87	7,0	259,3
1,90	2,701	2,15	4,164	2,55	7,565	2,95	12,60	8,0	413,7
1,92	2,802	2,20	4,512	2,60	8,097	3,0	13,36	9,0	625,0
1,94	2,906	2,25	4,882	2,65	8,655	3,5	22,92	10,0	903,0
1,96	3,012	2,30	5,272	2,70	9,240	4,0	36,57		
1,98	3,121	2,35	5,684	2,75	9,854	4,5	55,23		
2,00	3,232	2,40	6,119	2,80	10,49	5,0	79,86		
Khi số mũ thủy lực x = 3,00									
0	0	0,76	0,0834	1,04	0,292	1,32	0,759	1,70	2.088
0,05	0	0,77	0,0879	1,05	0,304	1,33	0,782	1,72	2,188
0,10	0	0,78	0,0925	1,06	0,316	1,34	0,806	1,74	2,292
0.15	0,0001	0,79	0,0974	1,07	0,328	1,35	0,830	1,76	2,399
0,20	0,0004	0,80	0,1024	1,08	0,340	1,36	0,855	1,78	2,510
0,25	0,0009	0,81	0,1075	1,09	0,353	1,37	0,881	1,80	2.624
0,30	0,0020	0,82	0,1130	1,10	0,366	1,38	0,907	1,82	2,743
0,35	0,0037	0,83	0,1186	1,11	0,380	1,39	0,933	1,84	2,866
0,40	0,0064	0,84	0,1245	1,12	0,394	1,40	0,960	1,86	2,992
0,45	0,0102	0,85	0,1305	1,13	0,408	1,41	0,988	1,88	3,123
0,50	0,0156	0,86	0,1368	1,14	0,422	1,42	1,016	1,90	3,258
0,55	0,0229	0,87	0,1432	1,15	0,437	1,43	1,045	1,92	3,397
0,60	0,0324	0,88	0,1499	1,16	0,453	1,44	1,075	1,94	3,542
0,61	0,0346	0,89	0,1569	1,17	0,469	1,45	1,105	1,96	3,690
0,62	0,0369	0,90	0,1640	1,18	0,485	1,46	1,136	1,98	3,841
0,63	0,0394	0,91	0,1714	1,19	0,501	1,47	1.167	2,00	4.000
0,64	0,0419	0,92	0,1791	1,20	0,518	1,48	1,199	2,05	4,415
0,65	0,0446	0,93	0,1870	1,21	0,536	1,49	1,232	2,10	4,862
0,66	0,0474	0,94	0,1952	1,22	0,554	1,50	1.266	2,15	5,342
0,67	0,0504	0,95	0,2036	1,23	0,572	1,52	1,335	2,20	5,856
0,68	0,0535	0,96	0,2123	1,24	0,591	1.54	1,406	2,25	6,407
0,69	0,0564	0,97	0,2213	1,25	0,610	1,56	1,480	2,30	6,966
0,70	0,0600	0,98	0,2306	1,26	0,630	1,58	1,558	2.35	7,625
0,71	0,0635	0,99	0,2402	1,27	0,650	1,60	1,638	2,40	8,294
0,72	0,0672	1,00	0,250	1,28	0,671	1,62	1,722	2,45	9,008
0,73	0,0710	1,01	0,260	1,29	0,692	1,64	1,808	2,50	9,766
0,74	0,0750	1,02	0,271	1,30	0,714	1,66	1,898	2,55	10,57
0,75	0,0791	1,03	0,281	1,31	0,736	1,68	1,992	2,60	11,42

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

ξ	φ (ξ)	ξ	φ (ξ)	ξ	φ (ξ)	ξ	φ (ξ)	ξ	φ (ξ)
2,65	12,33	2,85	16,49	3,5	37,52	6,0	324,0	10,0	2500
2,70	13,29	2,90	17,68	4,0	64,0	7,0	600		
2,75	14,30	2,95	18,93	4,5	102,5	8,0	1024		
2,80	15,37	3,0	20,25	5,0	156,0	9,0	1640		
Khi số mũ thủy lực x = 3,25									
0	0	0,80	0,0911	1,12	0,381	1,44	1,108	2,05	4,972
0,05	0	0,81	0,0961	1,13	0,396	1,45	1,141	2,10	5,508
0,10	0	0,82	0,1012	1,14	0,411	1,46	1,175	2,15	6,088
0,15	0,0001	0,83	0,1066	1,15	0,426	1,47	1,210	2,20	6,720
0,20	0,0003	0,84	0,1122	1,16	0,442	1,48	1,245	2,25	7,386
0,25	0,0007	0,85	0,1179	1,17	0,458	1,49	1,281	2,30	8,109
0,30	0,0014	0,86	0,1239	1,18	0,475	1,50	1,313	2,35	8,885
0,35	0,0027	0,87	0,1302	1,19	0,493	1,52	1,395	2,40	9,716
0,40	0,0048	0,88	0,1367	1,20	0,511	1,54	1,474	2,45	10,61
0,45	0,0079	0,89	0,1434	1,21	0,529	1,56	1,557	2,50	11,56
0,50	0,0124	0,90	0,1504	1,22	0,548	1,58	1,644	2,55	12,57
0,55	0,0185	0,91	0,1576	1,23	0,567	1,60	1,734	2,60	13,65
0,60	0,0258	0,92	0,1651	1,24	0,587	1,62	1,828	2,65	14,80
0,61	0,0288	0,93	0,1729	1,25	0,607	1,64	1,926	2,70	16,03
0,62	0,0308	0,94	0,1809	1,26	0,628	1,66	2,028	2,75	17,33
0,63	0,0330	0,95	0,1892	1,27	0,640	1,68	2,134	2,80	18,71
0,64	0,0353	0,96	0,1973	1,28	0,672	1,70	2,244	2,85	20,17
0,65	0,0387	0,97	0,2067	1,29	0,694	1,72	2,358	2,90	21,72
0,66	0,0402	0,98	0,2159	1,30	0,717	1,74	2,477	2,95	23,35
0,67	0,0429	0,99	0,2255	1,31	0,741	1,76	2,600	3,0	25,08
0,68	0,0457	1,00	0,2353	1,32	0,766	1,78	2,728	3,5	58,30
0,69	0,0486	1,01	0,2455	1,33	0,791	1,80	2,861	4,0	85,18
0,70	0,0517	1,02	0,256	1,34	0,816	1,82	2,999	4,5	140,5
0,71	0,0549	1,03	0,267	1,35	0,842	1,84	3,141	5,0	219,9
0,72	0,0582	1,04	0,278	1,36	0,869	1,86	3,288	6,0	477,2
0,73	0,0617	1,05	0,289	1,37	0,897	1,88	3,442	7,0	918,9
0,74	0,0654	1,06	0,301	1,38	0,925	1,90	3,600	8,0	1621
0,75	0,0693	1,07	0,314	1,39	0,954	1,92	3,764	9,0	2674
0,76	0,0733	1,08	0,326	1,40	0,983	1,94	3,933	10,0	4184
0,77	0,0775	1,09	0,339	1,41	1,013	1,96	4,109		
0,78	0,0818	1,10	0,353	1,42	1,044	1,98	4,290		
0,79	0,0864	1,11	0,367	1,43	1,076	2,00	4,477		

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

ξ	φ (ξ)	ξ	φ (ξ)	ξ	φ (ξ)	ξ	φ (ξ)	ξ	φ (ξ)
Khi số mũ thủy lực x = 3,50									
0	0	0,80	0,0814	1,12	0,370	1,44	1,147	2,05	5,619
0,05	0	0,81	0,0861	1,13	0,385	1,45	1,183	2,10	6,263
0,10	0	0,82	0,0910	1,14	0,401	1,46	1,210	2,15	6,962
0,15	0	0,83	0,0961	1,15	0,417	1,47	1,258	2,20	7,721
0,20	0,0002	0,84	0,1014	1,16	0,433	1,48	1,297	2,25	8,543
0,25	0,0004	0,85	0,1070	1,17	0,450	1,49	1,337	2,30	9,431
0,30	0,0010	0,86	0,1127	1,18	0,468	1,50	1,378	2,35	10,39
0,35	0,0020	0,87	0,1188	1,19	0,486	1,52	1,462	2,40	11,42
0,40	0,0036	0,88	0,1250	1,20	0,505	1,54	1,551	2,45	12,53
0,45	0,0061	0,89	0,1315	1,21	0,524	1,56	1,644	2,50	13,72
0,50	0,0098	0,90	0,1383	1,22	0,544	1,58	1,741	2,55	15,00
0,55	0,0151	0,91	0,1454	1,23	0,564	1,60	1,843	2,60	16,37
0,60	0,0223	0,92	0,1527	1,24	0,585	1,62	1,948	2,65	17,84
0,61	0,0240	0,93	0,1603	1,25	0,607	1,64	2,059	2,70	19,40
0,62	0,0259	0,94	0,1682	1,26	0,629	1,66	2,174	2,75	21,08
0,63	0,0278	0,95	0,1764	1,27	0,652	1,68	2,294	2,80	22,86
0,64	0,0298	0,96	0,1849	1,28	0,675	1,70	2,420	2,85	24,75
0,65	0,0320	0,97	0,1938	1,29	0,699	1,72	2,551	2,90	26,77
0,66	0,0343	0,98	0,2029	1,30	0,724	1,74	2,687	2,95	28,91
0,67	0,0367	0,99	0,2124	1,31	0,749	1,76	2,829	3,0	31,18
0,68	0,0392	1,00	0,2222	1,32	0,775	1,78	2,976	3,5	62,39
0,69	0,0418	1,01	0,2324	1,33	0,802	1,80	3,130	4,0	113,8
0,70	0,0446	1,02	0,243	1,34	0,829	1,82	3,289	4,5	193,3
0,71	0,0476	1,03	0,254	1,35	0,858	1,84	3,455	5,0	310,6
0,72	0,0507	1,04	0,265	1,36	0,887	1,86	3,627	6,0	705,4
0,73	0,0539	1,05	0,277	1,37	0,916	1,88	3,806	7,0	1412
0,74	0,0573	1,06	0,289	1,38	0,947	1,90	3,992	8,0	2574
0,75	0,0609	1,07	0,301	1,39	0,978	1,92	4,185	9,0	4374
0,76	0,0646	1,08	0,314	1,40	1,010	1,94	4,384	10,0	7027
0,77	0,0685	1,09	0,327	1,41	1,043	1,96	4,591		
0,78	0,0726	1,10	0,341	1,42	1,077	1,98	4,806		
0,79	0,0769	1,11	0,355	1,43	1,111	2,00	5,028		
Khi số mũ thủy lực x = 3,75									
0	0	0,20	0,0001	0,40	0,0027	0,60	0,0186	0,64	0,0253
0,05	0	0,25	0,0003	0,45	0,0047	0,61	0,0201	0,65	0,0272
0,10	0	0,30	0,0007	0,50	0,0078	0,62	0,0217	0,66	0,0292
0,15	0	0,35	0,0014	0,55	0,0123	0,63	0,0235	0,67	0,0314

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

ξ	φ (ξ)	ξ	φ (ξ)	ξ	φ (ξ)	ξ	φ (ξ)	ξ	φ (ξ)
0.68	0.0337	0,96	0,1734	1,24	0,585	1,54	1,637	2,25	9,912
0.69	0.0361	0,97	0,1822	1,25	0,608	1,56	1,740	2,30	11,00
0,70	0,0387	0,98	0,1913	1,26	0,631	1,58	1,849	2,35	12,18
0.71	0,0414	0,99	0,201	1.27	0,655	1,60	1,963	2,40	13,47
0,72	0,0442	1,00	0,211	1,28	0,680	1,62	2,082	2,45	14,85
0,73	0,0472	1,01	0,221	1,29	0,706	1,64	2,207	2,50	16,35
0,74	0,0504	1,02	0,231	1,30	0,732	1,66	2,338	2,55	17,96
0,75	0,0537	1,03	0,242	1,31	0,759	1,68	2,475	2,60	19,70
0,76	0,0572	1,04	0,254	1,32	0,787	1,70	2,618	2,65	21,56
0,77	0,0608	1,05	0,265	1,33	0,816	1,72	2,767	2,70	23,57
0,78	0,0647	1,06	0,278	1,34	0,846	1,74	2,924	2,75	25,71
0,79	0,0687	1,07	0,290	1,35	0,876	1,76	3,087	2,80	28,01
0,80	0,0729	1,08	0,303	1,36	0,907	1,78	3,257	2,85	30,47
0,81	0,0774	1,09	0,317	1,37	0,939	1,80	3,434	2,90	33,09
0,82	0,0820	1,10	0,331	1,38	0,972	1,82	3,619	2,95	35,89
0,83	0,0869	1,11	0,346	1,39	1,006	1,84	3,812	3,0	38,87
0,84	0,0920	1,12	0,361	1,40	1,041	1,86	4,013	3,5	80,84
0,85	0,0973	1,13	0,376	1,41	1,077	1,88	4,222	4,0	152,4
0,86	0,1028	1,14	0,392	1,42	1,114	1,90	4,440	4,5	266,7
0,87	0,1087	1,15	0,409	1,43	1,151	1,92	4,666	5,0	440,0
0,88	0,1147	1,16	0,426	1,44	1,190	1,94	4,902	6,0	1046
0,89	0,1210	1,17	0,444	1,45	1,230	1,96	5,147	7,0	2175
0,90	0,1276	1,18	0,462	1,46	1,270	1,98	5,401	8,0	4102
0,91	0,1345	1,19	0,481	1,47	1,312	2,00	5,665	9,0	7177
0,92	0,1417	1,20	0,501	1,48	1,355	2,05	6,370	10,0	11840
0,93	0,1491	1,21	0,521	1,49	1,399	2,10	7,143		
0,94	0,1569	1,22	0,541	1,50	1,445	2,15	7,987		
0,95	0,1650	1,23	0,563	1,52	1,538	2,20	8,809		
Khi số mũ thủy lực x = 4,00									
0	0	0,40	0,0021	0,64	0,0215	0,72	0,0387	0,80	0,0655
0,05	0	0,45	0,0037	0,65	0,0232	0,73	0,0415	0,81	0,0697
0,10	0	0,50	0,0063	0,66	0,0250	0,74	0,0444	0,82	0,0741
0,15	0	0,55	0,0101	0,67	0,0270	0,75	0,0475	0,83	0,0788
0,20	0,0001	0,60	0,0156	0,68	0,0291	0,76	0,0507	0,84	0,0836
0,25	0,0002	0,61	0,0169	0,69	0,0313	0,77	0,0541	0,85	0,0887
0,30	0,0005	0,62	0,0183	0,70	0,0336	0,78	0,0577	0,86	0,0941
0,35	0,0011	0,63	0,0198	0,71	0,0361	0,79	0,0615	0,87	0,0997

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

ξ	φ (ξ)	ξ	φ (ξ)	ξ	φ (ξ)	ξ	φ (ξ)	ξ	φ (ξ)
0,88	0,1056	1,12	0,352	1,36	0,930	1,70	2,840	2,45	17,66
0,89	0,1117	1,13	0,368	1,37	0,965	1,72	3,011	2,50	19,53
0,90	0,1181	1,14	0,385	1,38	1,001	1,74	3,190	2,55	21,56
0,91	0,1248	1,15	0,402	1,39	1,038	1,76	3,378	2,60	23,76
0,92	0,1318	1,16	0,420	1,40	1,076	1,78	3,574	2,65	26,14
0,93	0,1391	1,17	0,438	1,41	1,115	1,80	3,779	2,70	28,70
0,94	0,1468	1,18	0,457	1,42	1,155	1,82	3,994	2,75	31,46
0,95	0,1548	1,19	0,477	1,43	1,196	1,84	4,218	2,80	34,42
0,96	0,1631	1,20	0,498	1,44	1,238	1,86	4,452	2,85	37,61
0,97	0,1717	1,21	0,519	1,45	1,282	1,88	4,697	2,90	41,02
0,98	0,1808	1,22	0,541	1,46	1,327	1,90	4,952	2,95	44,68
0,99	0,1902	1,23	0,563	1,47	1,373	1,92	5,218	3,0	48,60
1,00	0,200	1,24	0,586	1,48	1,420	1,94	5,496	3,5	105,1
1,01	0,210	1,25	0,610	1,49	1,469	1,96	5,785	4,0	200,1
1,02	0,221	1,26	0,635	1,50	1,519	1,98	6,086	4,5	369,0
1,03	0,232	1,27	0,661	1,52	1,623	2,00	6,400	5,0	625
1,04	0,243	1,28	0,687	1,54	1,732	2,05	7,241	6,0	1555
1,05	0,255	1,29	0,714	1,56	1,847	2,10	9,168	7,0	3361
1,06	0,268	1,30	0,743	1,58	1,969	2,15	9,188	8,0	6554
1,07	0,281	1,31	0,772	1,60	2,097	2,20	10,31	9,0	11810
1,08	0,294	1,32	0,820	1,62	2,232	2,25	11,53	10,0	20000
1,09	0,308	1,33	0,832	1,64	2,373	2,30	12,87		
1,10	0,322	1,34	0,864	1,66	2,521	2,35	14,33		
1,11	0,337	1,35	0,897	1,68	2,677	2,40	15,93		
Khi số mũ thủy lực x = 4,50									
0,20	0,0000	0,64	0,0156	0,76	0,0402	0,88	0,0900	1,00	0,182
0,25	0,0001	0,65	0,0170	0,77	0,0432	0,89	0,0958	1,01	0,192
0,30	0,0002	0,66	0,0185	0,78	0,0464	0,90	0,1018	1,02	0,203
0,35	0,0006	0,67	0,0201	0,79	0,0497	0,91	0,1082	1,03	0,214
0,40	0,0012	0,68	0,0218	0,80	0,0533	0,92	0,1149	1,04	0,226
0,45	0,0023	0,69	0,0236	0,81	0,0571	0,93	0,1220	1,05	0,238
0,50	0,0040	0,70	0,0256	0,82	0,0610	0,94	0,1294	1,06	0,250
0,55	0,0068	0,71	0,0276	0,83	0,0652	0,95	0,1371	1,07	0,264
0,60	0,0109	0,72	0,0298	0,84	0,0697	0,96	0,1453	1,08	0,278
0,61	0,0120	0,73	0,0322	0,85	0,0744	0,97	0,1538	1,09	0,292
0,62	0,0131	0,74	0,0347	0,86	0,0793	0,98	0,1627	1,10	0,307
0,63	0,0143	0,75	0,0374	0,87	0,0845	0,99	0,1721	1,11	0,323

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

ξ	φ (ξ)	ξ	φ (ξ)	ξ	φ (ξ)	ξ	φ (ξ)	ξ	φ (ξ)
1,12	0,339	1,31	0,808	1,50	1,691	1,88	5,885	2,65	38,68
1,13	0,356	1,32	0,837	1,52	1,819	1,90	6,205	2,70	42,87
1,14	0,374	1,33	0,873	1,54	1,954	1,92	6,573	2,75	47,42
1,15	0,392	1,34	0,909	1,56	2,098	1,94	6,959	2,80	52,36
1,16	0,411	1,35	0,947	1,58	2,250	1,96	7,363	2,85	57,71
1,17	0,431	1,36	0,986	1,60	2,412	1,98	7,786	2,90	63,51
1,18	0,452	1,37	1,027	1,62	2,582	2,00	8,228	2,95	69,77
1,19	0,473	1,38	1,059	1,64	2,762	2,05	9,425	3,0	76,53
1,20	0,496	1,39	1,112	1,66	2,953	2,10	10,76	3,5	178,8
1,21	0,519	1,40	1,157	1,68	3,154	2,15	12,25	4,0	372,4
1,22	0,548	1,41	1,203	1,70	3,366	2,20	13,90	4,5	711,7
1,23	0,568	1,42	1,251	1,72	3,590	2,25	15,73	5,0	1371
1,24	0,594	1,43	1,300	1,74	3,825	2,30	17,75	6,0	3463
1,25	0,620	1,44	1,351	1,76	4,073	2,35	19,98	7,0	8085
1,26	0,648	1,45	1,403	1,78	4,335	2,40	22,43	8,0	16850
1,27	0,677	1,46	1,457	1,80	4,609	2,45	25,12	9,0	32210
1,28	0,707	1,47	1,513	1,82	4,898	2,50	28,08	10,0	57500
1,29	0,738	1,48	1,571	1,84	5,202	2,55	31,30		
1,30	0,770	1,49	1,680	1,86	5,520	2,60	34,83		

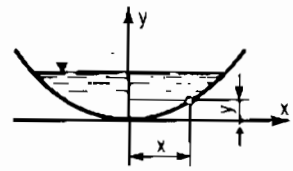
Vẽ đường mặt thoáng khi độ dốc i = 0 theo phương pháp B. T. Emxep. Theo đề nghị của B. T. Emxep, đường mặt thoáng (đường nước dâng cũng như nước hạ) đối với lòng dẫn có độ dốc bằng không có thể vẽ trên cơ sở sử dụng phương trình tổng quát có dạng (theo cách viết của B. T. Emxep):

$$\bar{\xi}\frac{l}{h_{pg}} = \eta_1\left[\frac{m}{2(2m+1)}\eta_1^{\frac{3m+1}{m}} - 1\right] - \eta_2\left[\frac{m}{2(2m+1)}\eta_2^{\frac{3m+2}{m}} - 1\right]$$

Phương trình đó có thể viết theo cách khác:

$$\bar{\xi}\frac{l}{h_{pg}} = \frac{m}{4m+2}\left(\eta_1^{\frac{4m+2}{m}} - \eta_2^{\frac{4m+2}{m}}\right) - (\eta_1 - \eta_2)$$

Phương trình nói trên đã được lập với điều kiện là hình dạng mặt cắt ngang của lòng dẫn tương ứng với điều kiện $y = ax^m$ trong đó x và y - các tọa độ đường viền của mặt cắt ngang (hình 9-17a), còn hệ số "a" và chỉ số mũ "m" - các thông số tương ứng.



Hình 9.17a

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Ở đây ta dùng các kí hiệu sau: $\bar{\xi} = \frac{g\chi}{C^2 B}$, trong đó: g, χ, C và B - lần lượt là gia tốc trọng trường chu vi ướt, hệ số Sêzi $C = \frac{1}{n} R^y$ và chiều rộng mặt thoáng của mặt cắt ngang; l - khoảng cách giữa mặt cắt ngang thứ nhất và thứ hai của dòng chảy; h_{pg} - chiều sâu phân giới; m - chỉ số mũ trong phương trình $y = ax^m$ là phương trình của hình dạng mặt cắt ngang, η_1 và η_2 - tỉ số giữa chiều sâu thực h của dòng chảy tại mặt cắt đã cho và chiều sâu phân giới h_{pg}.

Đối với lòng dẫn chữ nhật m = 0,0, còn phương trình cơ bản có dạng:

$$\bar{\xi}\frac{l}{h_{pg}} = \frac{1}{4}(\eta_1^4 - \eta_2^4) - (\eta_1 - \eta_2)$$

Đối với lòng dẫn parabôn m = 2 và lúc đó phương trình cơ bản có dạng:

$$\bar{\xi}\frac{l}{h_{pg}} = \frac{1}{5}(\eta_1^5 - \eta_2^5) - (\eta_1 - \eta_2)$$

Đối với mặt cắt tam giác m = 1 và phương trình cơ bản có dạng:

$$\bar{\xi}\frac{l}{h_{pg}} = \frac{1}{6}(\eta_1^6 - \eta_2^6) - (\eta_1 - \eta_2)$$

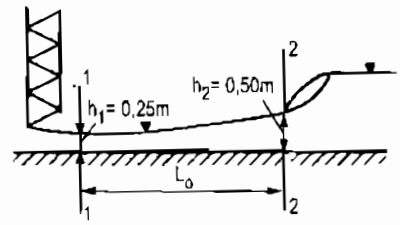
Đối với mặt cắt hình thang vấn đề trở nên phức tạp hơn. Trong trường hợp này cần đưa vào một thông số không thứ nguyên $\varepsilon = m_o h/b$ (ở đây m_o - hệ số mái dốc, h và b - chiều sâu và chiều rộng đáy của mặt cắt dòng chảy). Đối với mặt cắt hình thang quan hệ tính toán sẽ có dạng phương trình sau:

$$\frac{A_T m_o}{b}\bar{\xi}_T l = A_T\left[2{,}3\lg\frac{1+\varepsilon_1}{1+\varepsilon_2} - 2(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)\right] + f_T(\varepsilon_1) - f(\varepsilon_2)$$

trong đó: $A_T = \frac{Q^2 m_o^3}{g b^5}$; $\bar{\xi}_T = \frac{g\chi}{C^2 B}$ và $f(\varepsilon) = \frac{15 + 24\varepsilon + 10\varepsilon^2}{60}\varepsilon^4$.

Trong các phương trình nói trên, các thông số ξ và ξ_T có thể tính theo các chiều sâu, lấy trung bình giữa chiều sâu ban đầu của đoạn tính toán và chiều sâu phân giới.

Đối với các mặt cắt chữ nhật, parabôn và tam giác, việc sử dụng các phương trình B. T. Emxep không cần các bảng phụ lục, vì vậy các phương trình đó có ý nghĩa thực tế rất lớn.



Hình 9.17b

Thí dụ: Xác định độ phóng xa của nước nhảy (hình 9.17b) trong lòng dẫn chữ nhật

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

khi B >> h, chiều sâu ban đầu h_1 = 0,25m, chiều sâu cuối h_2 = 0,5m (trước nước nhảy) và chiều sâu phân giới h_{pg} = 0,75m. Lòng dẫn được đổ bêtông (h = 0,02).

Giải: Khi B >> h → χ = B

1- Xác định $\bar{\xi} \approx \frac{g}{C_{pg}^2} = \frac{9,81}{47,5^2} = 0,0045$.

2- Tính $\eta_1 = \frac{0,25}{0,75} = \frac{1}{3}$ và $\eta_2 = \frac{0,50}{0,75} = \frac{2}{3}$; $\eta_1^4 = \frac{1}{81}$ và $\eta_2^4 = \frac{16}{81}$

3- Độ phóng xa cần tìm của nước nhảy:

$$l = \frac{h_{pg}}{\zeta}\left[\frac{1}{4}(\eta_1^4 - \eta_2^4) - (\eta_1 - \eta_2)\right] =$$

$$= \frac{0,75}{0,0045}\left[\frac{1}{4}\left(\frac{1}{81} - \frac{16}{81}\right) - \left(\frac{1}{3} - \frac{2}{3}\right)\right] \approx 166\left[-\frac{1}{320} + \frac{1}{3}\right] \approx 55m$$

4- Vẽ đường nước dâng hoặc nước hạ theo phương trình cơ bản cũng được tiến hành theo trình tự như các phương pháp khác, cụ thể là tự cho một loạt giá trị $\eta_1', \eta_1'', ..., \eta_n$ ứng với η_2 cho trước, rồi xác định các khoảng cách tương ứng l_1, l_2, ..., l_n.

Sau đó theo một loạt chiều sâu $h_1' = \eta_1' h_{pg}$; $h_1'' = \eta_1'' h_{pg}$, ... $h_n = \eta_n h_{pg}$ và các khoảng cách tương ứng l_1, l_2, ..., l_n ta vẽ đường mặt nước của dòng chảy.

Ghi chú: Phương trình của B. T. Emxep đối với lòng dẫn chữ nhật

$$\bar{\zeta}\frac{l}{h_{pg}} = \frac{1}{4}(\eta_1^4 - \eta_2^4) - (\eta_1 - \eta_2)$$

có thể viết dưới dạng sau: $\bar{\zeta}\frac{l}{h_{pg}} = \eta_2 - \eta_1 - 0,25(\eta_2^4 - \eta_1^4)$ và vì $\bar{\zeta} = \frac{g\chi}{C^2 B}$ là độ dốc phân giới $\zeta = i_{pg}$ nên phương trình có dạng sau:

$$i_{pg}\frac{l}{h_{pg}} = \eta_2 - \eta_1 - 0,25(\eta_2^4 - \eta_1^4)$$

tức là trùng với phương trình của Bakhơmêchep đối với lòng dẫn có độ dốc bằng không khi số mũ thủy lực x = 3,0 (xem công thức 9-23).

3. Kênh có độ dốc nghịch (i < 0)

Trong trường hợp này, sau khi tích phân theo phương pháp Bakhơmêchep, phương trình cơ bản có dạng:

$$\frac{i'l}{h_o'} = -\zeta_2 + \zeta_1 + (1 - j_{th})\left[\varphi(\zeta_2) - \varphi(\zeta_1)\right] \qquad (9\text{-}25)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

trong đó:

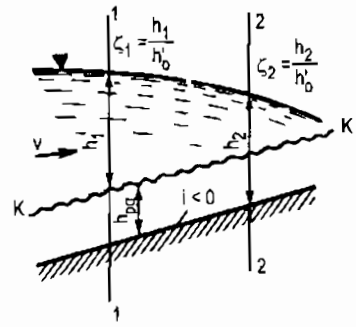
i - độ dốc đáy (giá trị tuyệt đối của nó, tức là với dấu cộng);

h'_o - độ sâu chảy đều ứng với lưu lượng đã cho và với giả thiết lòng dẫn dốc thuận và có trị số bằng độ dốc thực tế âm;

ζ_2 và ζ_1 - độ sâu "tương đối" lần lượt bằng $\zeta_2 = h_2 / h'_o$ và $\zeta_1 = h_1 / h'_o$ của mặt cắt cuối cùng và đầu tiên của đoạn đã cho với độ dài bằng l (hình 9.18);

j_{tb} - cũng như đối với i > 0, bằng $\left(\frac{\alpha C^2 i}{g} \cdot \frac{B}{\chi}\right)_{th}$;

$\varphi(\zeta_2)$ và $\varphi(\zeta_1)$ - là các hàm số ; $\int \frac{d\zeta}{1+\zeta^x} + C$



Hình 9.18

Các giá trị của $\varphi(\zeta)$ ghi trong bảng 9.5.

Bảng 9.5. Các giá trị hàm số $\varphi(\zeta)$ của lòng dẫn có độ dốc đáy nghịch (i < 0)

ζ	φ (ζ)	ζ	φ (ζ)	ζ	φ (ζ)	ζ	φ (ζ)	ζ	φ (ζ)
Khi số mũ thủy lực x = 2,00									
0	0	0,68	0,597	0,88	0,721	1,08	0,824	1,28	0,908
0,05	0,050	0,69	0,603	0,89	0,727	1,09	0,828	1,29	0,911
0,10	0,099	0,70	0,610	0,90	0,732	1,10	0,833	1,30	0,915
0,15	0,148	0,71	0,617	0,91	0,738	1,11	0,837	1,31	0,919
0,20	0,196	0,72	0,624	0,92	0,743	1,12	0,842	1,32	0,922
0,25	0,244	0,73	0,630	0,93	0,749	1,13	0,846	1,33	0,926
0,30	0,291	0,74	0,637	0,94	0,754	1,14	0,851	1,34	0,930
0,35	0,336	0,75	0,643	0,95	0,759	1,15	0,855	1,35	0,933
0,40	0,380	0,76	0,649	0,96	0,764	1,16	0,859	1,36	0,937
0,45	0,422	0,77	0,656	0,97	0,770	1,17	0,864	1,37	0,940
0,50	0,463	0,78	0,662	0,98	0,775	1,18	0,868	1,38	0,944
0,55	0,502	0,79	0,668	0,99	0,780	1,19	0,872	1,39	0,947
0,60	0,540	0,80	0,674	1,00	0,785	1,20	0,876	1,40	0,951
0,61	0,547	0,81	0,680	1,01	0,790	1,21	0,880	1,41	0,954
0,62	0,554	0,82	0,686	1,02	0,795	1,22	0,884	1,42	0,957
0,63	0,562	0,83	0,692	1,03	0,800	1,23	0,888	1,43	0,960
0,64	0,569	0,84	0,698	1,04	0,805	1,24	0,892	1,44	0,964
0,65	0,576	0,85	0,704	1,05	0,810	1,25	0,896	1,45	0,967
0,66	0,583	0,86	0,710	1,06	0,815	1,26	0,900	1,46	0,970
0,67	0,590	0,87	0,715	1,07	0,819	1,27	0,904	1,47	0,973

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

ζ	φ (ζ)	ζ	φ (ζ)	ζ	φ (ζ)	ζ	φ (ζ)	ζ	φ (ζ)
1,48	0,977	1,70	1,039	2,00	1,107	2,60	1,204	4,0	1,324
1,49	0,980	1,75	1,052	2,10	1,126	2,70	1,216	4,5	1,351
1,50	0,983	1,80	1,064	2,20	1,144	2,80	1,228	5,0	1,373
1,55	0,997	1,85	1,075	2,30	1,161	2,90	1,239	6,0	1,405
1,60	1,012	1,90	1,086	2,40	1,176	3,00	1,249	8,0	1,447
1,65	1,026	1,95	1,097	2,50	1,190	3,50	1,293	10,0	1,471
Khi số mũ thủy lực x = 2,50									
0	0	0,74	0,662	1,00	0,813	1,26	0,923	1,60	1,022
0,05	0,050	0,75	0,668	1,01	0,817	1,27	0,927	1,65	1,033
0,10	0,100	0,76	0,675	1,02	0,823	1,28	0,930	1,70	1,044
0,15	0,150	0,77	0,681	1,03	0,827	1,29	0,934	1,75	1,054
0,20	0,198	0,78	0,688	1,04	0,831	1,30	0,937	1,80	1,064
0,25	0,246	0,79	0,694	1,05	0,836	1,31	0,940	1,85	1,073
0,30	0,295	0,80	0,700	1,06	0,841	1,32	0,943	1,90	1,082
0,35	0,342	0,81	0,706	1,07	0,846	1,33	0,947	1,95	1,090
0,40	0,389	0,82	0,712	1,08	0,851	1,34	0,951	2,00	1,098
0,45	0,434	0,83	0,718	1,09	0,856	1,35	0,954	2,10	1,112
0,50	0,477	0,84	0,724	1,10	0,860	1,36	0,957	2,20	1,125
0,55	0,518	0,85	0,730	1,11	0,864	1,37	0,960	2,30	1,137
0,60	0,558	0,86	0,736	1,12	0,868	1,38	0,963	2,40	1,148
0,61	0,566	0,87	0,742	1,13	0,872	1,39	0,966	2,50	1,157
0,62	0,574	0,88	0,748	1,14	0,876	1,40	0,969	2,60	1,166
0,63	0,581	0,89	0,754	1,15	0,880	1,41	0,972	2,70	1,174
0,64	0,589	0,90	0,760	1,16	0,884	1,42	0,975	2,80	1,181
0,65	0,596	0,91	0,766	1,17	0,888	1,43	0,978	2,90	1,188
0,66	0,604	0,92	0,771	1,18	0,892	1,44	0,980	3,00	1,194
0,67	0,611	0,93	0,777	1,19	0,896	1,45	0,983	3,50	1,218
0,68	0,619	0,94	0,782	1,20	0,900	1,46	0,986	4,0	1,237
0,69	0,626	0,95	0,787	1,21	0,904	1,47	0,989	4,5	1,251
0,70	0,638	0,96	0,793	1,22	0,908	1,48	0,991	5,0	1,260
0,71	0,640	0,97	0,798	1,23	0,912	1,49	0,994	6,0	1,272
0,72	0,648	0,98	0,803	1,24	0,916	1,50	0,997	8,0	1,290
0,73	0,655	0,99	0,809	1,25	0,919	1,55	1,010	10,0	1,298
Khi số mũ thủy lực x = 3,00									
0	0	0,25	0,248	0,50	0,485	0,63	0,595	0,68	0,634
0,05	0,050	0,30	0,297	0,55	0,528	0,64	0,602	0,69	0,641
0,10	0,100	0,35	0,346	0,60	0,571	0,65	0,610	0,70	0,649
0,15	0,150	0,40	0,393	0,61	0,579	0,66	0,618	0,71	0,657
0,20	0,199	0,45	0,440	0,62	0,587	0,67	0,626	0,72	0,664

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

ζ	φ (ζ)	ζ	φ (ζ)	ζ	φ (ζ)	ζ	φ (ζ)	ζ	φ (ζ)
0,73	0,672	0,94	0,804	1,15	0,903	1,36	0,973	1,85	1,072
0,74	0,679	0,95	0,809	1,16	0,907	1,37	0,976	1,90	1,079
0,75	0,686	0,96	0,815	1,17	0,911	1,38	0,979	1,95	1,085
0,76	0,693	0,97	0,820	1,18	0,915	1,39	0,981	2,00	1,090
0,77	0,700	0,98	0,825	1,19	0,918	1,40	0,984	2,10	1,100
0,78	0,707	0,99	0,830	1,20	0,921	1,41	0,986	2,20	1,109
0,79	0,713	1,00	0,834	1,21	0,925	1,42	0,989	2,30	1,117
0,80	0,720	1,01	0,840	1,22	0,929	1,43	0,992	2,40	1,124
0,81	0,727	1,02	0,845	1,23	0,932	1,44	0,995	2,50	1,131
0,82	0,733	1,03	0,850	1,24	0,935	1,45	0,997	2,60	1,137
0,83	0,740	104	0,855	1,25	0,938	1,46	1,000	2,70	1,142
0,84	0,746	1,05	0,859	1,26	0,942	1,47	1,003	2,80	1,146
0,85	0,752	1,06	0,864	1,27	0,945	1,48	1,005	2,90	1,150
0,86	0,758	1,07	0,869	1,28	0,948	1,49	1,007	3,00	1,154
0,87	0,764	1,08	0,873	1,29	0,952	1,50	1,009	3,50	1,165
0,88	0,770	1,09	0,877	1,30	0,955	1,55	1,020	4,0	1,176
0,89	0,776	1,10	0,881	1,31	0,958	1,60	1,030	4,5	1,183
0,90	0,781	1,11	0,886	1,32	0,961	1,65	1,039	5,0	1,188
0,91	0,787	1,12	0,891	1,33	0,964	1,70	1,048	6.0	1,195
0,92	0,793	1,13	0,895	1,34	0,967	1,75	1,057	8,0	1,201
0,93	0,799	1,14	0,899	1,35	0,970	1,80	1,065	10,0	1,203
Khi số mũ thủy lực x = 3,50									
0	0	0,63	0,605	0,78	0,720	0,93	0,815	1,08	0,888
0,05	0,050	0,64	0,613	0,79	0,727	0,94	0,820	1,09	0,892
0,10	0,100	0,65	0,621	0,80	0,734	0,95	0,826	1,10	0,897
0,15	0,150	0,66	0,630	0,81	0,741	0,96	0,831	1,11	0,901
0,20	0,200	0,67	0,638	0,82	0,748	0,97	0,837	1,12	0,905
0,25	0,250	0,68	0,646	0,83	0,755	0,98	0,842	1,13	0,909
0,30	0,299	0,69	0,653	0,84	0,761	0,99	0,847	1,14	0,913
0,35	0,348	0,70	0,661	0,85	0,767	1,00	0,851	1,15	0,917
0,40	0,396	0,71	0,668	0,86	0,774	1,01	0,856	1,16	0,921
0,45	0,444	0,72	0,676	0,87	0,778	1,02	0,862	1,17	0,925
0,50	0,490	0,73	0,683	0,88	0,780	1,03	0,866	1,18	0,928
0,55	0,534	0,74	0,691	0,89	0,792	104	0,871	1,19	0,931
0,60	0,579	0,75	0,698	0,90	0,798	1,05	0,875	1,20	0,935
0,61	0,588	0,76	0,705	0,91	0,804	1,06	0,879	1,21	0,939
0,62	0,596	0,77	0,712	0,92	0,810	1,07	0,884	1,22	0,943

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

ζ	φ (ζ)	ζ	φ (ζ)	ζ	φ (ζ)	ζ	φ (ζ)	ζ	φ (ζ)
1,23	0.946	1,34	0,977	1,45	1,005	1,80	1,059	2,70	1,113
1,24	0.949	1,35	0,980	1,46	1,007	1,85	1,065	2,80	1,116
1.25	0,952	1,36	0,983	1,47	1,009	1,90	1,070	2,90	1,119
1,26	0.925	1,37	0,986	1,48	1,010	1,95	1,074	3,00	1,121
1.27	0.958	1,38	0,989	1,49	1,012	2,00	1,078	3,50	1,129
1,28	0,861	1,39	0,991	1,50	1,014	2,10	1,085	4,00	1,134
1.29	0,964	1,40	0,993	1,55	1,023	2,20	1,092	4,50	1,137
1,30	0,966	1,41	0,995	1,60	1,032	2,30	1,097	5,00	1,139
1,31	0,969	1,42	0,998	1,65	1,040	2,40	1,102	6,00	1,142
1.32	0,972	1,43	1,001	1,70	1,047	2,50	1,106	8,00	1,144
1,33	0,974	1,44	1.003	1,75	1,053	2,60	1,110	10,00	1,145
Khi số mũ thủy lực x = 4,00									
0	0	0,74	0,702	1,00	0,867	1,26	0,967	1,60	1,034
0,05	0,050	0.75	0,709	1,01	0,872	1,27	0,970	1,65	1,040
0.10	0,100	0,76	0,717	1,02	0,876	1,28	0,973	1,70	1,046
0.15	0,150	0,77	0,724	1,03	0,881	1,29	0,975	1,75	1,051
0,20	0,200	0,78	0,731	1,04	0,887	1,30	0,978	1,80	1,056
0,25	0,250	0,79	0,738	1,05	0,891	1,31	0,981	1,85	1,060
0,30	0,300	0,80	0,746	1,06	0,895	1,32	0,984	1,90	1,064
0.35	0,349	0,81	0,753	1,07	0,900	1,33	0,986	1,95	1,067
0,40	0.397	0.82	0,760	1.08	0,904	1,34	0,989	2,00	1,070
0,45	0,446	0.83	0,766	1,09	0,908	1,35	0,991	2,10	1,075
0.50	0,493	0,84	0,773	1,10	0,912	1,36	0,993	2,20	1,079
0.55	0,539	0,85	0,780	1,11	0,916	1,37	0,995	2,30	1,083
0,60	0,585	0,86	0,786	1,12	0,920	1,38	0,997	2,40	1,086
0,61	0,594	0,87	0,792	1,13	0,924	1,39	0,998	2,50	1,089
0,62	0,603	0,88	0,799	1,14	0,927	1,40	1,000	2,60	1,091
0,63	0,612	0.89	0,805	1,15	0,930	1,41	1,002	2,70	1,093
0.64	0,620	0,90	0,811	1,16	0,935	1.42	1,004	2,80	1,095
0.65	0,629	0,91	0,817	1,17	0,938	1,43	1,006	2,90	1,097
0,66	0,638	0,92	0,823	1,18	0,942	1,44	1,008	3,00	1,098
0.67	0,646	0,93	0,829	1,19	0,946	1.45	1,010	3,50	1,102
0.68	0,654	0,94	0,835	1,20	0,949	1,46	1,012	4,0	1,105
0,69	0,662	0,95	0,840	1,21	0,952	1,47	1,013	4,5	1,107
0,70	0,670	0,96	0,846	1,22	0,955	1,48	1,014	5.0	1,109
0.71	0,678	0,97	0,851	1,23	0,958	1,49	1,015	6,0	1,110
0,72	0,686	0,98	0,857	1,24	0,961	1,50	1,019	8,0	1,110
0.73	0,694	0,99	0,861	1,25	0,964	1,55	1,028	10,0	1,110

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

b) Phương pháp N. N. Pavlôpxki

Để làm biến số độc lập khi tích phân phương trình vi phân cơ bản của dòng chảy không đều N. N. Pavlôpxki đã dùng tỉ số $\chi = K/K_o$, tức là đặc trưng lưu lượng tương đối. Ứng với tỉ số ấy phương trình Pavlôpxki của lòng dẫn có độ dốc thuận $i > 0$ có dạng:

$$ai\,l = \chi_2 - \chi_1 - (1 - j_{tb})[P(\chi_2) - P(\chi_1)] \qquad (9\text{-}26)$$

trong đó:

i - độ dốc đáy;

l - chiều dài của đoạn đã cho;

χ_2 và χ_1 - lần lượt bằng K_2/K_o và K_1/K_o, tức là đặc trưng lưu lượng tương đối của mặt cắt đầu và cuối đoạn, trong đó K_2 - đặc trưng lưu lượng ứng với độ sâu h_2; K_1 - ứng với độ sâu h_1 và K'_o - với độ sâu chảy đều ở h'_o;

$P(\chi_2)$ và $P(\chi_1)$ - các "hàm Pavlôpxki":

$$P(\chi) = -\int \frac{d\chi}{\chi^2 - 1} + C; \qquad j_{tb} = \left(\frac{\alpha C^2 i}{g} \cdot \frac{B}{\chi}\right)_{tb}; \qquad a = \frac{\chi_2 - \chi_1}{h_2 - h_1}.$$

Trị số a lấy bằng hằng số và bằng trị số trung bình trong phạm vi toàn đường nước dâng hoặc nước hạ. Trong trường hợp phải vẽ chính xác, là điều có ý nghĩa thực tế khi vẽ đường nước hạ với $i < i_{pg}$ và $h_{pg} < h < h_o$ và khi vẽ đường mặt thoáng trên dốc nước, trị số a thường lấy cố định cho từng đoạn.

Trị số bằng số của hàm P(x) chính bằng trị số của hàm $\varphi(\eta)$ khi số mũ thủy lực $x = 2$. Vì thế khi sử dụng phương trình N. N. Pavlôpxki (9-26) phải dùng bảng 9.3 của trị số hàm $\varphi(\eta)$ tương ứng lúc đặt $x = 2{,}0$.

Phương trình (9-26) của viện sĩ N. N. Pavlôpxki cũng tổng quát như phương trình (9-20) và áp dụng được cho bất cứ dạng mặt cắt nào của kênh và để vẽ mọi loại đường mặt thoáng có thể có.

Thí dụ: Vẽ đường mặt thoáng nước dâng cho kênh có mặt cắt hình chữ nhật khi cho lưu lượng đơn vị $q = 6{,}22\ m^3/(s.m)$, độ dốc đáy $i = 0{,}0004$, hệ số nhám $n = 0{,}002$; độ sâu bình thường $h_o = 3m$. Ở tuyến (a - a) công trình dâng nước có độ sâu $H = 6m$ (xem thí dụ).

Giải: Để vẽ đường nước dâng ta tính khoảng cách từ tuyến (a - a) đến các tuyến có độ sâu tương ứng là $h'_1 = 5{,}0m$; $h''_1 = 4m$ và $h'''_1 = 3{,}5m$.

Ta tiến hành tính toán theo công thức N. N. Pavlôpxki (9-26)

$$l = \frac{1}{ai}\{\chi_2 - \chi_1 - (1 - j_{tb})[\varphi(\chi_2) - \varphi(\chi_1)]\}$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Sau đây trình bày chi tiết cách tính toán cho đoạn I, còn ở các đoạn khác tất cả kết quả tính toán được ghi trong bảng.

Ta tính lần lượt:

1. $$\chi_2 = \frac{K_2}{K_o} \text{ và } \chi_1 = \frac{K_1}{K_o}$$

Đặc tính lưu lượng K_o ứng với độ sâu $h_o = 3m$ sẽ bằng

$$K_o = \omega_o C_o \sqrt{R_o} = h_o B \frac{1}{n} h_o^{2/3} = \frac{3B.3^{2/3}}{0,02} = 312B \ (m^3/s)$$

tương tự:
$$K_1 = \frac{5\sqrt[3]{5^2}}{0,02} B = 730B \ (m^3/s)$$

$$K_2 = \frac{6\sqrt[3]{6^2}}{0,02} B = 990B \ (m^3/s)$$

Lúc đó:
$$\chi_1 = \frac{730}{312} = 2,34 \text{ và } \chi_1 = \frac{990}{312} = 3,17$$

2. Sau đó ta tìm:
$$a = \frac{\chi_2 - \chi_1}{h_2 - h_1} = \frac{3,17 - 2,34}{6 - 5} = 0,83$$

3. Ta xác định j_{tb} với $B \approx \alpha$ theo công thức:

$$j_{tb} = \frac{\alpha C_{tb}^2 i}{g}$$

trong đó:
$$C_{tb} = \frac{C_1 + C_2}{2}; \qquad C_1 = \frac{1}{n} R^{1/6} = \frac{\sqrt[3]{\sqrt{5}}}{0,02} = 67,3$$

$$C_2 = \frac{\sqrt[3]{\sqrt{6}}}{0,02} = 65,2; \qquad C_{tb} = \frac{67,3 + 65,2}{2} = 66,25$$

Vậy:
$$j_{tb} = \frac{1,10.66,25^2.0,0004}{9,81} = 0,197$$

4. Theo bảng 9.3 ứng với x = 2 ta được:

$$\varphi(\chi_2) = \varphi(3,17) = 0,328;$$

$$\varphi(\chi_1) = \varphi(2,340) = 0,457.$$

5. Như vậy:

$$l_1 = \frac{1}{0,83.0,0004}\{3,17 - 2,340 - (1 - 0,197)(0,328 - 0,457)\} = 2820m$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Đoạn	h_1 (m)	h_2 (m)	K_2/B	K_1/B	χ_2	χ_1	a
I	5	6	990	730	3,17	2,34	0,83
II	4	6	990	604	3,17	1,61	0,78
III	3,5	6	990	402	3,17	1,29	0,74

Đoạn	C_1	C_2	C_{tb}	$i_{tb} = \frac{\alpha C^2 i}{g}$	$\varphi(\chi_1)$	$\varphi(\chi_2)$	l (m)
I	65,2	67,3	66,22	0,197	0,457	0,328	2820
II	63,0	67,3	65,15	0,191	0,727	0,328	5060
III	61,5	67,3	64,4	0,186	1,033	0,328	8290

c) Phương pháp đơn giản để vẽ đường nước dâng

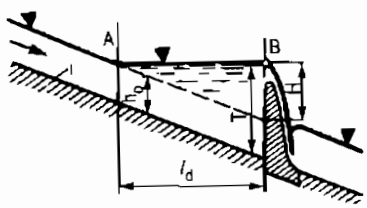
Trong trường hợp cần phải vẽ rất nhanh (mặc dù không chính xác lắm) đường nước dâng của các lòng dẫn có độ dốc đáy nhỏ $i < i_{pg}$, ta có thể sử dụng một trong các phương pháp gần đúng sau đây:

1. Phương pháp thứ nhất: Đường nước dâng AB coi như nằm ngang (hình 9.19).

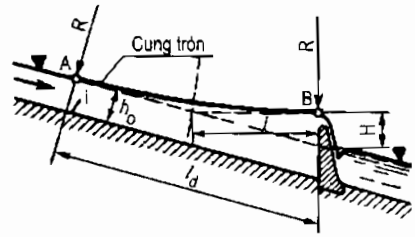
Độ dài đường nước dâng: $$l_d = \frac{H}{i} \qquad (9\text{-}27)$$

trong đó: $H = T - h_o$.

Phương pháp này thường sử dụng trong thực tế khi xác định gần đúng lần thứ nhất vị trí đầu ngọn của hồ chứa nước lớn có cột nước cao.



Hình 9.19



Hình 9.20

2. Phương pháp thứ hai: Đường nước dâng AB lấy bằng cung tròn (hình 9.20) và có độ dài bằng:

$$l_d \approx 2l = \frac{2H}{i} \qquad (9\text{-}28)$$

3. Phương pháp thứ ba: Đường nước dâng lấy theo dạng parabôn (thay cho cung tròn) có đỉnh ở điểm B (tại đập). Đầu đường nước dâng xuất hiện ở điểm A, còn độ dài đường nước dâng bằng:

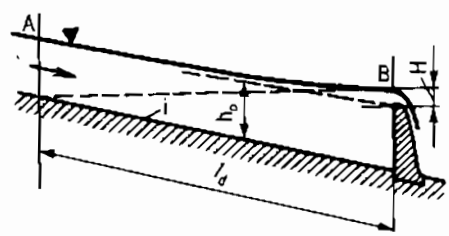
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$l_d \approx 2l = \frac{2H}{i} \qquad (9\text{-}29)$$

4. Phương pháp thứ tư: Đường nước dâng lấy theo dạng parabôn. Đầu đường nước dâng lấy ở tuyến của điểm A (hình 9.20a), tức là ở điểm gặp nhau của đáy lòng dẫn với đường nằm ngang đi qua điểm B. Độ dài đường nước dâng trong trường hợp đó bằng:

$$l_d = \frac{h_o + H}{i} \qquad (9\text{-}30)$$



Hình 9.20a

Các phương pháp đơn giản giới thiệu ở trên chỉ nên dùng để tính toán sơ bộ và cũng thích hợp cho việc áp dụng vào hồ chứa thiên nhiên.

9.3. CHUYỂN ĐỘNG KHÔNG ĐỀU TRONG KÊNH CÓ ĐỘ SÂU KHÔNG ĐỔI VÀ CÓ BỀ RỘNG THAY ĐỔI (PHƯƠNG PHÁP V. Đ. JURIN)

V. Đ. Jurin (năm 1947) đã giải quyết toàn diện và hoàn thiện vấn đề chuyển động trong kênh có độ sâu không đổi.

Phương trình cơ bản có dạng:

$$\mu \frac{db}{ds} = 1 - i\frac{K^2}{Q^2}$$

hay:

$$\mu \frac{db}{ds} = 1 - \eta^2 \qquad (9\text{-}31)$$

trong đó: $\mu = \frac{\alpha}{g} \cdot \frac{hC^2}{\chi}$ [khi $C \approx const$; $\mu = \varphi(b)$] còn $\eta = \frac{K}{K_o}$.

Các dạng kênh có thể xảy ra được giới thiệu trong bảng tổng quát của V. Đ. Jurin (bảng 9.6). Có thể vẽ bình diện kênh bằng nhiều cách khác nhau. Chúng tôi trình bày dưới đây phương pháp "đại lượng đơn vị và dẫn xuất".

a) Đối với kênh đáy bằng (i = 0)

Khoảng cách giữa hai mặt cắt có bề rộng đáy b_2 và b_1 được xác định trực tiếp theo phương trình Jurin (9-32), không cần tính thử dần.

$$L_{1\text{-}2} = s_2 - s_1 = \frac{\alpha}{g} h C_n^2 \sqrt[3]{h}(\sigma_2 - \sigma_1)n = const \qquad (9\text{-}32)$$

trong đó: $C_n = \frac{1}{n}$ - hệ số Sêzi (tính theo công thức Pavlôpxki: $C_n = \frac{1}{n}R'$ ứng với R = 1,00m); σ_1 và σ_2 - hàm số của "chiều rộng tương đối" của đáy kênh:

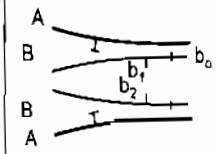
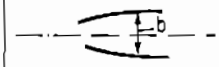
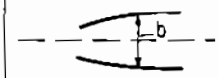
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$\sigma = f(\beta) = \int \psi(\beta) d\beta + C$$

Trị số bằng số của σ_1 và σ_2 lấy ở bảng 9.7 đối với $\beta = b/h$.

Bảng 9.6. Bình diện kênh trong chuyển động không đều và chiều sâu cố định

Độ dốc	Công thức	Khu vực	Biến số		Dấu của đại lượng $\frac{db}{ds}$	Dạng lòng dẫn	Sơ đồ trên bình diện
			b	$\eta = \frac{K}{K_o}$			
i > 0	$\mu \frac{db}{ds} = 1 - \eta^2$	A	$b > b_o$	$\eta > 1$	(−)	Co hẹp	
			$b = b_o$	$\eta = 1$	0	Không đổi	
		B	$b < b_o$	$\eta < 1$	(+)	Mở rộng	
i = 0	$\mu \frac{db}{ds} = 1,0$	–	Không thể có chuyển động đều		(+)	Mở rộng	
i < 0	$\mu \frac{db}{ds} = 1 + \eta^2$	–			(+)	Mở rộng	

Bảng 9.7. Các giá trị $K^2_{rộng}$, $\psi(\beta)$ và σ để tính toán kênh có độ sâu không đổi và bề rộng thay đổi tùy theo chiều rộng tương đối $\beta = b/h$ theo phương pháp của V. Đ. Jurin

β	$K^2_{rộng}$	ψ (β)	σ	β	$K^2_{rộng}$	ψ (β)	σ
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*
Với m = 0,0				Với m = 1.0			
0,5	0,029	0,234	0,093	0,5	0,772	0,230	0,108
1,0	0,230	0,2310	0,211	1,0	1,683	0,210	0,212
2,0	1,584	0,198	0,426	2,0	4,765	0,177	0,412
3,0	4,510	0,169	0,607	3,0	9,682	0,151	0,574
4,0	9,250	0,146	0,764	4,0	16,476	0,132	0,715
5,0	16,000	0,128	0,900	5,0	25,233	0,117	0,840
6,0	24,700	0,114	1,021	6,0	36,022	0,105	0,960
7,0	35,200	0,102	1,128	7,0	48,689	0,095	1,050
8,0	48,00	0,093	1,226	8,0	63,241	0,087	1,141
10,0	78,90	0,078	1,396	10,0	98,552	0,074	1,301
15,0	198,00	0,056	1,727	15,0	221,98	0,054	1,617
20,0	352,00	0,044	1,975	20,0	393,57	0,043	1,586

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

1	2	3	4	5	6	7	8
Với m = 1,5				Với m = 2,0			
0,5	1,534	0,192	0,089	0,5	2,496	0,161	0,074
1,0	2,770	0,177	0,181	1,0	4,029	0,150	0,152
2,0	6,515	0,152	0,346	2,0	8,481	0,132	0,292
3,0	12,144	0,133	0,488	3,0	14,654	0,118	0,416
4,0	19,671	0,118	0,614	4,0	22,684	0,141	0,532
5,0	29,095	0,106	0,723	5,0	32,723	0,095	0,633
6,0	40,466	0,096	0,824	6,0	44,654	0,087	0,724
7,0	53,810	0,088	0,915	7,0	58,522	0,880	0,807
8,0	69,256	0,081	0,999	8,0	74,81	0,075	0,884
10,0	105,463	0,069	1,150	10,0	111,94	0,065	1,023
15,0	232,19	0,052	1,448	15,0	241,38	0,049	1,304
20,0	407,49	0,041	1,677	20,0	419,69	0,040	1,526

Trình tự tính toán: Dựa vào độ sâu không đổi h cho trước của kênh và bề rộng b_2 và b_1 của hai mặt cắt, ta tính $\beta_2 = b_2/h$ và $\beta_1 = b_1/h$. Theo β_2 và β_1, dùng bảng 9.7 tương ứng với hệ số mái dốc m, ta được trị số hàm số σ_2 và σ_1. Sau đó tính hệ số $C_n = 1/n$, rồi theo phương trình (9-32) ta tính được khoảng cách giữa hai mặt cắt.

Thí dụ: Nước chảy dưới của van của một máng nằm ngang có mặt cắt hình chữ nhật. Vẽ bình diện máng với dòng chảy có độ sâu không đổi h = 1,00m. Bề rộng của máng ở mặt cắt bắt đầu (co hẹp) b = 5m; hệ số nhám n = 0,02.

Để vẽ bình diện theo công thức V. Đ. Jurin, ta xác định khoảng cách l_1 và l_2 từ mặt cắt bắt đầu (co hẹp) đến các mặt cắt có độ rộng tương ứng là 6m và 7m.

1. Theo công thức (9-32) (với h = 1,00m và n = 0,02) ta được:

$$l = \frac{a}{g} h \frac{1}{n^2} \sqrt[3]{h}(\sigma_2 - \sigma_1) = \frac{1,10}{9,81} \cdot \frac{1}{0,02^2}(\sigma_2 - \sigma_1) = 280(\sigma_2 - \sigma_1)$$

2- Dùng bảng 9.7, ta tìm giá trị $\sigma = f(\beta)$ khi m = 0

Số thứ tự mặt cắt	$\beta = b/h$	$\sigma = f(\beta)$ (theo bảng 9.7)
I - I	$\beta = b/h = 5$	0,900
II - II	$\beta = b/h = 6$	1,021
III - III	$\beta = 7$	1,128

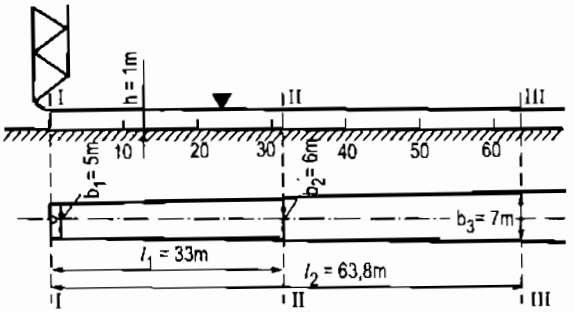
3- Khi đó: $l_1 = 280(1,021 - 0,9) = 33,9m;$

$l_2 = 280(1,128 - 0,9) = 63,8m.$

Cách vẽ bình diện của máng trình bày trên hình 9.21.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 9.21

b) Đối với kênh có độ dốc (i > 0; i < 0)

Đối với kênh dốc người ta xác định khoảng cách L giữa hai mặt cắt bằng phương pháp tổng theo phương trình (9-33):

$$\Delta s = haP\frac{\psi(\beta)}{P - K^2_{r\text{ông}}}\cdot\Delta\beta = \frac{\alpha Q^2}{gih^4}\frac{\psi(\beta)}{P - K^2_{r\text{ộng}}}\cdot\Delta\beta \qquad (9\text{-}33)$$

trong đó:

$p = \dfrac{Q^2}{ih^{5,34}C_n^2}$ - trị số cố định đối với kênh đã cho;

$a = \dfrac{\alpha}{g}C_n^2\sqrt[3]{h}$;

trị số $\psi(\beta)$ và $K^2_{r\text{ộng}}$ lấy ở bảng 9.7.

Do cách giải trên đòi hỏi phải hoàn thành một khối lượng công việc lớn, nên V. Đ. Jurin đã đề nghị một phương pháp gần đúng. Ở đây chỉ trình bày phương pháp gần đúng trong trường hợp dốc thuận.

Khi i > 0, phương trình tính toán có dạng:

$$L_{1-2} = s_2 - s_1 = \frac{\mu_{th}}{2k}\ln\frac{(1+\eta_2)(1-\eta_1)}{(1-\eta_2)(1+\eta_1)} \qquad (9\text{-}34)$$

trong đó:

$\mu_{th} = \left(\dfrac{\alpha C^2}{g\chi}h\right)_{th}$ - giá trị trung bình ứng với hai mặt cắt đã cho và có thể tính như là $\mu_{th} = \dfrac{\mu_1 + \mu_2}{2}$ với $\mu_1 = \dfrac{\alpha C_1^2}{g\chi_1}h$ ứng với b_1 và $\mu_2 = \dfrac{\alpha C_2^2}{g\chi_2}h$ ứng với b_2 hoặc như $\mu_{th} = \dfrac{\alpha C^2}{g\chi}h$, trong đó C và χ tính tương ứng với $b_{th} = \dfrac{b_1 + b_2}{2}$.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

η_1 và η_2 - đặc trưng lưu lượng tương đối lần lượt bằng $\eta_1 = \frac{K_1}{K_o}$ và $\eta_2 = \frac{K_2}{K_o}$

(K_1 và K_2 - đặc trưng lưu lượng của mặt cắt thứ 1 và mặt cắt thứ 2);

k - hệ số tính theo công thức $k = \frac{\eta_1 - \eta_2}{b_1 - b_2}$.

Phương trình (9-34) có thể viết dưới dạng khác:

$$L_{1-2} = s_2 - s_1 = \mu_{th} \frac{b_1 - b_2}{\eta_1 - \eta_2}[\Phi(\eta_2) - \Phi(\eta_1)] \qquad (9\text{-}34')$$

trong đó: $\Phi(\eta_1)$ và $\Phi(\eta_2)$ lấy ở bảng $\varphi(\eta)$ ứng với số mũ thủy lực x = 2 (bảng 9.3).

Thí dụ: Xác định khoảng cách giữa các mặt cắt I, II và III của dốc nước có mặt cắt hình chữ nhật và độ sâu h không đổi với điều kiện sau: lưu lượng Q = 20 m^3/s; độ dốc đáy i = 0,04; độ sâu h = 0,75m, bề rộng b_1 = 10m; b_2 = 8m; hệ số nhám n = 0,02.

Giải:

1- Dùng công thức (9-34), ta lần lượt tính:

$$K_o = \frac{Q}{\sqrt{i}} = \frac{20}{\sqrt{0,04}} = 100\ m^3/s$$

$$K_1 = \frac{bh}{n}\left(\frac{bh}{b+2h}\right)^{2/3} = \frac{7,50}{0,02}\left(\frac{7,5}{11,5}\right)^{2/3}$$

$$= 375.0,653^{2/3} = 375.0,775 = 290,6\ m^3/s$$

$$K_2 = \frac{6}{0,02}\left(\frac{6}{9,5}\right)^{2/3} = 300.0,735 = 221\ m^3/s$$

$$\eta_2 = \frac{K_2}{K_o} = \frac{221}{100} = 2,21;\ \eta_1 = \frac{K_1}{K_o} = \frac{290,6}{100} = 2,906;$$

$$k = \frac{\eta_1 - \eta_2}{b_1 - b_2} = \frac{2,906 - 2,21}{10 - 8} = \frac{0,7}{2} = 0,35;$$

$$\mu_{th} = \frac{\alpha C_{th}^2}{g\chi_{th}} h = \frac{\alpha}{g\chi_{th}} \cdot \frac{1}{n^2}\left(\frac{\omega}{\chi_{th}}\right)^{1/3} h = 15,75;$$

$$\ln\frac{(1+\eta_2)(1-\eta_1)}{(1-\eta_2)(1+\eta_1)} = \ln\frac{3,21(-1,83)}{(-1,21)(3,83)} = 0,2384$$

2- Như thế khoảng cách cần tìm giữa hai mặt cắt I và II sẽ bằng

$$L_1 = \frac{\mu}{2k}\ln\frac{(1+\eta_2)(1-\eta_1)}{(1-\eta_2)(1+\eta_1)} = \frac{1,575}{2.0,35}0,2384 = 6,07m$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

3- Bây giờ ta tính L của đoạn thứ hai khi $b_3 = 6m$.

$$K_3 = \frac{\omega}{n}\left(\frac{\omega}{\chi}\right)^{2/3} = 159,5 \ m^3/s$$

$$\eta_2 = \frac{K_3}{K_o} = \frac{159,5}{100} = 1,595 \text{ và } \eta_1 = \frac{K_1}{K_o} = \frac{221}{100} = 2,21;$$

$$k = \frac{2,21 - 1,596}{8-6} = 0,3075;$$

$$\mu_{th} = \frac{\alpha C_{th}^2}{g\chi_{th}} h = \frac{1,10.45,9^2}{9,81.7,5} 0,75 = 23,6;$$

$$\ln \frac{(1+\eta_2)(1-\eta_1)}{(1-\eta_2)(1+\eta_1)} = 0,4945$$

4- Do đó khoảng cách giữa hai mặt cắt II và III bằng

$$L_2 = \frac{23,5}{2,0.0,3075} \cdot 0,4945 = 18,90m$$

9.4. CHUYỂN ĐỘNG KHÔNG ĐỀU TRONG KÊNH MẶT CẮT HÌNH CHỮ NHẬT CÓ CHIỀU RỘNG THAY ĐỔI, DÒNG CHẢY HƯỚNG TÂM (PHƯƠNG PHÁP O. F. VAXILEP)

Đối với trường hợp đặc biệt của kênh không lăng trụ (mặt cắt hình chữ nhật), O. F. Vaxilep đã đề nghị cách giải sau đây[1]: có thể dùng cho dòng chảy hướng tâm hình vành khăn. Phương trình vi phân cơ bản của dòng chảy không đều đối với loại lòng dẫn này có thể viết dưới dạng:

$$\frac{dh}{dr} = \frac{\pm i + \left(\frac{Q^2}{\theta}\right)^2 \frac{1}{(rh)^3}\left(\frac{\alpha}{g}h \mp \frac{r}{C^2}\right)}{1 - F_r} \qquad (9\text{-}35)$$

trong đó: C - hệ số Sêzi (không xét độ nhám của các thành bên), độ dốc đáy i lấy theo phương hướng tâm của dòng chảy, dấu trên ứng với dòng chảy khuếch tán, dấu dưới ứng với dòng chảy hội tụ, số Frut:

$$F_r = \frac{\alpha}{g}\left(\frac{Q}{\theta}\right)^2 \frac{1}{r^2 h^3}$$

---

[1] Công trình nghiên cứu được tiến hành ở trường Đại học Xây dựng Matxcơva năm 1954 và được công bố trong tạp chí "Báo cáo của VHLKH LX" năm 1956, tập 106, số 5.

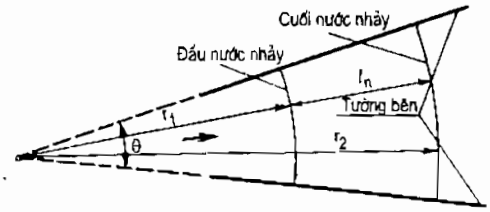
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

trong đó:

θ - góc giữa hai thành bên, tính bằng radian;

r - bán kính mặt cắt có độ sâu h trong bình diện, tính từ giao điểm của đường kéo dài của hai thành bên (hình 9.22).



Hình 9.22

Để tích phân phương trình (9-35) có xét đến độ nhám của đáy, có thể dùng phương pháp đồ giải và tích phân phương trình vi phân thường bậc nhất. Khi không xét đến lực ma sát với i = 0, ta có phương trình:

$$r = \frac{l}{h}\sqrt{\frac{A}{\frac{A}{(r_1 h_1)^2} + h_1 - h}} \qquad (9\text{-}35')$$

trong đó: $A = \frac{\alpha}{2g}\left(\frac{Q}{\theta}\right)^2$;

r_1 - bán kính theo bình diện của mặt cắt có độ sâu h_1 đã cho;

r và h - bán kính và độ sâu của mặt cắt bất kì khác.

Đối với i ≠ 0 có thể dùng phương trình[1]:

$$h \mp ir + \frac{A}{(rh)^2} = h_1 \mp ir + \frac{A}{(r_1 h_1)^2} \qquad (9\text{-}35'')$$

Kết quả tính toán và thí nghiệm đã chứng tỏ rằng việc bỏ qua độ nhám ở đáy [tức là bỏ qua số hạng r/C^2 trong phương trình (9-35)] khi tính toán đường nước hạ của dòng chảy xiết (có nước nhảy xa) không đưa đến sai số lớn đáng kể (sai số ~ 5%).

9.5. VẼ ĐƯỜNG NƯỚC DÂNG TRONG SÔNG THIÊN NHIÊN

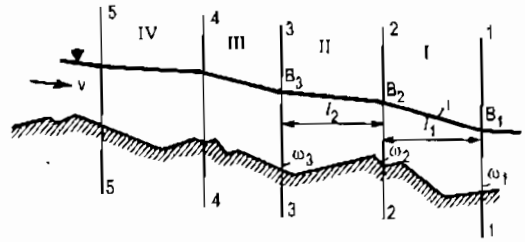
Đường nước dâng của các con sông có thể vẽ theo nhiều phương pháp. Tất cả các phương pháp đều phải tiến hành vẽ cho từng đoạn, liên tiếp nhau, từ dưới lên trên theo chiều dòng chảy. Khi chia đoạn, cần chú ý đến tính chất đồng nhất của dòng chảy trong phạm vi của mỗi đoạn. Độ dài của từng đoạn có thể từ vài trăm mét đến vài chục cây số. Cách chia đảm bảo nhất là chia theo tính đồng nhất của độ

[1] Cũng như ở phương trình (9-35), dấu trên ứng với dòng khuếch tán, dấu dưới - dòng hội tụ, còn độ dốc đáy i lấy theo phương hướng tâm của dòng chảy.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

dốc mặt thoáng (hình 9.23). Nên hiệu chỉnh lại kết quả chia theo phương pháp trên bằng cách thiết lập sự biến đổi của các yếu tố thủy lực khác dọc theo dòng chảy (mặt cắt ướt, chiều rộng mặt nước, bán kính thủy lực v.v...).



Hình 9.23

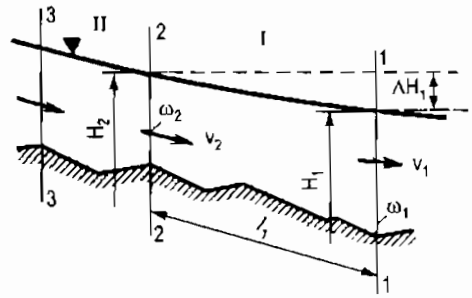
Kết quả vẽ đường mặt thoáng phụ thuộc rất nhiều vào mức độ hoàn hảo của các số liệu đo đạc thủy văn trên sông và cụ thể là phụ thuộc vào số liệu về độ dốc, hình dạng lòng dẫn và hệ số nhám.

Việc chọn phương pháp tính toán phụ thuộc vào mức độ hoàn hảo của các số liệu ban đầu. Trong tất cả các trường hợp, việc xác định hệ số nhám tính toán có một ý nghĩa rất quan trọng. Trường hợp tính toán với hệ số nhám được xác định trực tiếp ngoài thực địa cho con sông nhất định và cho từng đoạn tính toán là trường hợp cho ta kết quả đáng tin cậy nhất. Trong thực tế điều này ít khi xảy ra và thường phải dùng số liệu quan sát ở trên các lòng dẫn khác.

a) Vẽ đường nước dâng bằng phương pháp cộng liên tiếp độ chênh ΔH của đường mặt thoáng trên từng đoạn

Độ chênh ΔH của đường mặt nước đối với bất kỳ một đoạn sông nào, ví dụ đoạn thứ nhất (hình 9.23a), theo phương trình Becnuli sẽ bằng:

$$\Delta H_1 = \frac{Q^2}{2g}\left(\frac{1}{\omega_1^2} - \frac{1}{\omega_2^2}\right) + \frac{Q^2}{\omega^2 C^2 R} l_1 \qquad (9\text{-}36)$$



Hình 9.23a

hoặc:

$$\Delta H_1 = \frac{Q^2}{2g}\left(\frac{1}{\omega_1^2} - \frac{1}{\omega_2^2}\right) + \frac{Q^2}{K^2} l_1 \qquad (9\text{-}36')$$

trong đó: ω, C, R, K và Q - trị số trung bình của diện tích mặt cắt ngang, hệ số trong công thức Sêzi, bán kính thủy lực, đặc trưng lưu lượng và lưu lượng của từng đoạn cho trước[1].

[1] Trong sông (lòng dẫn thiên nhiên) lưu lượng Q thường thay đổi dọc theo dòng chảy.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Theo phương trình (9-36), sau khi xác định được độ chênh mực nước ΔH trên đoạn đã cho (tính toán tiến hành theo phương pháp gần đúng liên tiếp), ta chuyển sang tính cho đoạn tiếp theo nằm ở phía trên v.v...

Trình tự tính toán. Có cao trình nước dâng H_1 (ở tuyến thứ nhất) ta tự cho độ chênh mực nước của đoạn thứ nhất là ΔH_1, tức là cho cao trình mực nước ở tuyến thứ hai $H_2 = H_1 + \Delta H_1$ (đấy là tính toán gần đúng lần thứ nhất).

Sau đó theo số liệu đã cho của mặt cắt 1-1 và 2-2 ta tìm:

$$\omega = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}; \qquad R = \frac{R_1 + R_2}{2} \quad \text{và} \quad C = \frac{C_1 + C_2}{2}$$

hoặc
$$K = \frac{K_1 + K_2}{2} = \frac{\omega_1 C_1 \sqrt{R_1} + \omega_2 C_2 \sqrt{R_2}}{2}$$

và tính vế phải của phương trình (9-36), ta sẽ có $\Delta H_1'$. Nếu $\Delta H_1'$ bằng độ chênh đã cho ΔH_1 thì tính toán cho đoạn thứ nhất xem như đã xong, trong trường hợp ngược lại cần tính toán một lần nữa với trị số ΔH_1 mới. Sau khi tính toán cho đoạn một xong, thì chuyển sang đoạn hai nằm phía trên v.v...

Nếu $\omega_1 > \omega_2$, thì số hạng thứ nhất ở vế phải của phương trình (9-36) sẽ mang dấu âm, nên phải bỏ qua.

Nên tính toán dưới dạng bảng (xem bảng 9.8) và để rút gọn quá trình tính toán, nên lập trước cho mỗi tuyến các đồ thị ω, C và R như các hàm f(H), hoặc nếu dùng phương trình (9-36') thì chỉ cần lập đồ thị cho $\omega = f_1(H)$ và $K = f_2(H)$. Trong các đồ thị đó, cao trình phải thống nhất, tức là phải lấy một đường đồng mức làm chuẩn hay là phải xây dựng đối với cùng một đường nằm ngang.

Bảng 9.8. Vẽ đường nước dâng

Số tuyến	H	ΔH	ω_1	ω_2	$\frac{1}{\omega_1^2} - \frac{1}{\omega_2^2}$	K_1	K_2	$K = \frac{K_1 - K_2}{2}$	$\Delta H' = \frac{Q^2}{2g}\left(\frac{1}{\omega_1^2} - \frac{1}{\omega_2^2}\right) + \frac{Q^2}{K^2} l$	Chú thích

b) Phương pháp V. I. Tsacnômxki - Hơxtit

Cũng thể tiến hành vẽ đường nước dâng theo phương pháp V. I. Tsacnômxki[1].

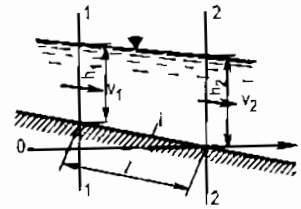
(1) Tsectôuxóp M. Đ. Giáo trình thủy lực chuyên môn, M - L, Nhà xuất bản năng lượng, 1949.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Phương trình Becnuli viết cho mặt cắt 1-1 và 2-2 với giả thiết là trục Ox đi qua điểm thấp nhất của mặt cắt 2-2 (hình 9.24), sẽ có dạng:

$$il + h_1 + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + i_f l \qquad (9\text{-}37)$$



Hình 9.24

hoặc $il + \mathfrak{I}_1 = i_f l + \mathfrak{I}_2$

Ở đây độ dốc thủy lực $i_f = \frac{Q^2}{\omega^2 C^2 R}$, trong đó ω, C và R được xem là các giá trị trung bình của đoạn đang xét, do đó:

$$l = \frac{\mathfrak{I}_2 - \mathfrak{I}_1}{i - i_f} \qquad (9\text{-}37')$$

trong đó: $\mathfrak{I}_2, \mathfrak{I}_1$ - lần lượt là "năng lượng đơn vị mặt cắt" của mặt cắt 2-2 và 1-1.

Phương trình (9-37') cũng dùng để vẽ đường nước dâng. Rõ ràng là, trong thực tế để áp dụng phương trình này, cũng giống như trường hợp trên, tốt nhất là nên lập trước những đồ thị phụ cho mỗi mặt cắt đối với các đại lượng $\omega = f_1(h)$; $\mathfrak{I} = f_2(h)$ và $K = f_3(H)$. Trong trường hợp này thuận tiện nhất là lập các đồ thị theo hàm số độ sâu.

Trình tự tính toán để vẽ đường nước dâng tương tự như đã giới thiệu ở trên. Khi tính toán cũng nên lập bảng.

c) Phương pháp N. N. Pavlôpxki

Nếu bỏ qua số hạng đầu trong phương trình (9-36), ta sẽ có phương trình dưới dạng:

$$\Delta z = Q^2 \frac{l}{K^2} = Q^2 F \qquad (9\text{-}38)$$

Đại lượng $l/K^2 = F$ được N. N. Pavlôpxki gọi là môđun sức cản của lòng dẫn (đối với đoạn có chiều dài l. Đặc trưng lưu lượng K ở đây xem như là trị số trung bình của đoạn l).

Giả thiết là F chỉ phụ thuộc vào cao trình trung bình của mực nước trong đoạn đang xét (hình 9.25)* mà không phụ thuộc vào độ dốc[1], thì có thể dùng số liệu thủy văn quan trắc được để vẽ hàm số đường cong tương ứng $F = \varphi_1(\overline{z})$ cho mỗi đoạn như là hàm của cao trình trung bình (hình 9.25). Nếu biểu diễn các đường cong đó trên cùng

---

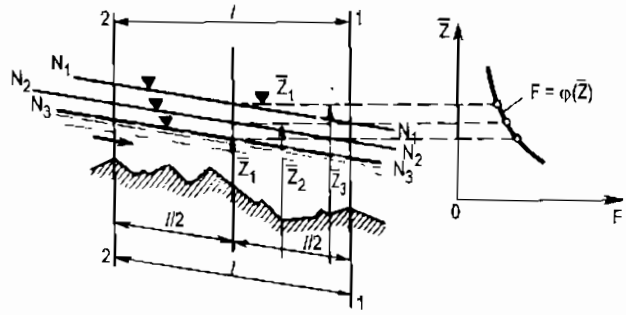
* Ở đây cần hiểu cao trình "trung bình" là cao trình mực nước ở giữa đoạn ứng với lưu lượng đã cho, ví dụ bằng z_1 như đã trình bày ở hình 9.25.

[1] Đấy là giả thiết về tính không đổi của môđun sức cản F của lòng dẫn của N. N. Pavlôpxki.

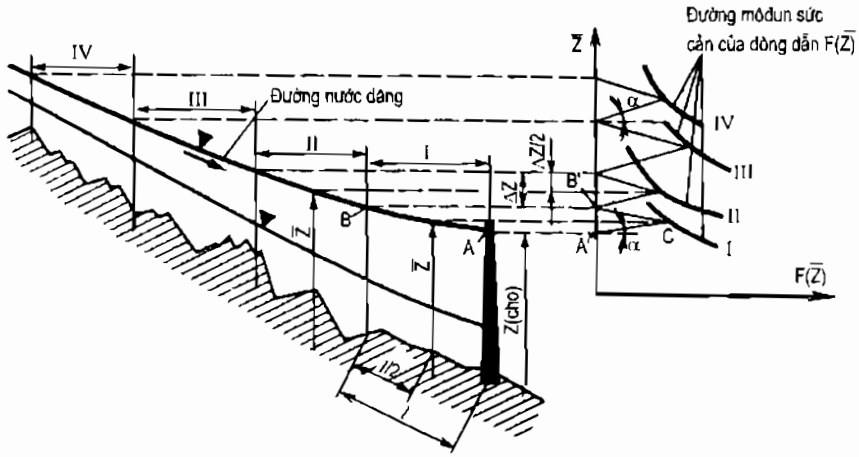
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

một hình vẽ (bên phải hình 9.26), thì có thể rất dễ dàng tìm được cao trình nước dâng bằng phương pháp đồ thị cho mỗi tuyến và lần lượt vẽ được toàn đường nước dâng.



Hình 9.25

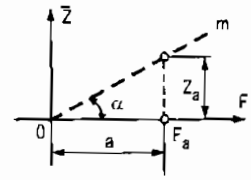


Hình 9.26

Sơ đồ tổng quát về cách vẽ trình bày ở hình 9.26. Điểm A tại tuyến thứ nhất của đường nước dâng là đã cho (thiết kế) với cao trình z [ví dụ cao trình mức nước bình thường (MNBT) của đập thiết kế]. Từ điểm A ta tìm được điểm A' trên đồ thị $F = \varphi_1(\bar{z})$ (hình 9.26, ở bên phải). Từ điểm A' ta kẻ đường thẳng lập với trục F một góc α cho đến khi gặp đường cong F của đoạn thứ nhất ở điểm C, từ điểm này ta cũng vẽ một đường thẳng dưới cùng một góc α theo phương ngược lại đến điểm B' và do đó xác định được điểm B của đường nước dâng tại tuyến thứ hai. Cứ làm như vậy cho đoạn thứ hai, thứ ba v.v... ta sẽ vẽ được toàn bộ đường nước dâng.

Giải thích thêm:

1. Xây dựng góc α. Đặt trên trục F một đoạn thẳng a tùy ý và theo tỉ lệ xích của đồ thị đã chọn, ta đọc giá trị của môđun sức cản F_a của lòng dẫn (hình 9.27). Nhân F_a với một nửa bình phương của lưu lượng tính toán Q_{tt}^2 ta



Hình 9.27

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

sẽ có $z_a = \frac{Q_{tt}^2}{2} F_a$. Bây giờ vẽ z_a theo tỉ lệ xích của $\bar{z}$ và vẽ đường Om, ta sẽ được góc α cần tìm. Tang của góc này, do đó bằng:

$$\frac{Q_{tt}^2}{2} = \frac{z_a}{F_a} = \frac{z_a}{a} = tg\alpha$$

Trong trường hợp này đoạn A'B' (hình 9.26) chính là độ chênh mặt nước ở đoạn thứ nhất, vì:

$$\Delta z = Q^2 F = 2\frac{Q^2}{2} F = 2tg\alpha F = A'B'$$

Điều này có thể thấy trực tiếp trên hình vẽ (hình 9.26). Ở đây F ứng với cao trình trung bình $\bar{z}_1$ của đoạn thứ nhất.

Ta cũng làm như vậy cho tất cả các đoạn khác.

2. Vẽ đường $F = \varphi(z)$. Nếu có tài liệu thủy văn đo đạc trực tiếp về vị trí của đường mặt nước trong sông ở các mực nước khác nhau, thì ta xác định được F bằng $F = \Delta\bar{z}/Q^2$ cho một số cao trình $\bar{z}_1$, $\bar{z}_2 ... \bar{z}_3, ..., \bar{z}_n$ ở giữa mỗi đoạn đối với các lưu lượng tương ứng $Q_1, Q_2 ... Q_n$. Dùng các số liệu này lập các bảng giá trị $\bar{z}$ và F riêng cho mỗi đoạn và từ đó vẽ được đường cong $F = \varphi(\bar{z})$.

Nếu không có các tài liệu đo đạc thủy văn như thế, thì sau khi tính đặc trưng lưu lượng theo giá trị trung bình của các đặc trưng ở tuyến trên K_1 và tuyến dưới K_2 của đoạn đang xét $\left(K = \frac{K_1 + K_2}{2}\right)$ và đại lượng $F = 1/K^2$ ta xác định được F cho mỗi đoạn ứng với các cao trình $\bar{z}$. Trong trường hợp này việc vẽ đường nước dâng sẽ ít bảo đảm hơn.

c) Phương pháp N. V. Matixki

Để vẽ đường nước dâng, N. V. Matixki cho rằng độ chênh mực nước Δz trên đoạn sông đang xét khi dâng tới cao trình z sẽ bằng (với lưu lượng tính toán Q_{tt}):

$$\Delta z = \Delta z_b \left(\frac{Q_{tt}}{Q_b}\right)^2 \qquad (9\text{-}39)$$

trong đó: Δz_b - độ chênh ở trên đoạn ấy trong điều kiện bình thường (không có công trình dâng nước), nhưng với lưu lượng Q_b tương ứng với cao trình dâng z.

Trình tự vẽ đường nước dâng như sau. Trước hết vẽ biểu đồ hỗn hợp $Q = f(H)$ dựa trên các số liệu thủy văn của tất cả các tuyến (cùng một tỉ lệ) (hình 9.28). Sau đó, dựa vào cao trình dâng z_1 đã cho của tuyến thứ nhất, trên đồ thị ứng với cao trình trong điều kiện bình thường ta tìm được một lưu lượng Q_{b1} và một độ chênh Δz_{b1} trên đoạn

https://tieulun.hopto.org

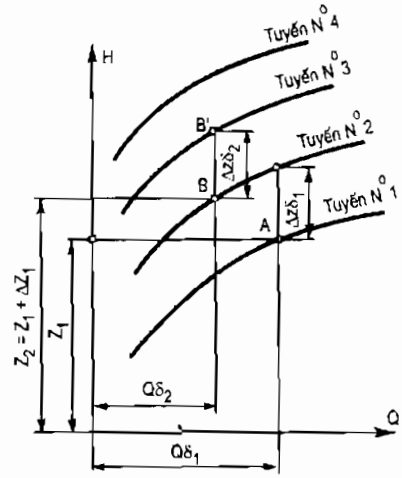
www.thuvien247.net

thứ nhất (từ tuyến số 2 đến tuyến số 1) (đoạn AA'). Khi đó độ hạ thấp mực nước Δz_1 ở đoạn thứ nhất, khi dâng tới cao trình z_1 (ở tuyến thứ 1) và với lưu lượng Q_{tt} cho đoạn thứ nhất, sẽ được xác định theo công thức (9-39):

$$\Delta z_1 = \Delta z_{b1}\left(\frac{Q_{tt}}{Q_{b1}}\right)^2$$

và do đó cao trình nước dâng ở tuyến thứ hai sẽ là:

$$z_2 = z_1 + \Delta z_1$$



Hình 9.28

Tính toán xong đoạn thứ nhất, ta chuyển sang tính cho đoạn thứ hai bằng cách lặp lại tất cả các bước nói trên. Như vậy, với đoạn thứ hai sẽ có độ hạ thấp mực nước trong điều kiện bình thường là Δz_{b2} (đoạn BB'); lưu lượng trong các điều kiện bình thường Q_{b2}; độ hạ thấp của đường nước dâng $\Delta z_2 = \Delta z_{b2}\,(Q_{tt}/Q_{b2})^2$ và cao trình đường nước dâng ở tuyến thứ 3 là $z_3 = z_2 + \Delta z_2$. Cứ thế tiếp tục tính toán cho đến điểm "kết thúc" của đường nước dâng ở đoạn thứ n.

d) Phương pháp N. M. Becnatxki

Phương pháp vẽ đường nước dâng trong sông thiên nhiên của N. M. Becnatxki chủ yếu là sử dụng "đường cong tựa"[(1)]. Nếu bỏ qua sự biến đổi của cột nước vận tốc như ta thường làm khi vẽ đường nước dâng cho sông có độ dốc bé hơn độ dốc phân giới ($i < i_{pg}$), thì ta có:

$$\Delta H = \frac{Q^2}{K^2}\cdot l$$

hoặc:

$$Q^2 = \frac{K^2}{l}\Delta H \qquad (9\text{-}40)$$

Đặc trưng lưu lượng của lòng dẫn đang xét là hàm chỉ độ sâu của lòng dẫn, tức là $K = f(\bar{z})$, còn đại lượng độ hạ thấp mực nước ΔH của đoạn đang xét có chiều dài l thì theo giả thiết về K_2/l không đổi (tức là tính độc lập của tỉ số đó đối với độ dốc), chỉ phụ thuộc vào lưu lượng. Do đó:

$$Q^2 = \frac{K^2}{l}\Delta H = \varphi(\bar{z},\ \Delta H)$$

---

(1) (Xem hình 9.31)

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Vì vậy trong trường hợp này lưu lượng Q (cũng như Q^2) là hàm của hai biến độc lập $\bar{z}$ và ΔH [hoặc K và ΔH, vì $K = K(\bar{z})$].

Nếu xem K hoặc [$f(\bar{z})$] như là một thông số, ta có thể viết:

$$d(Q)^2 = \varphi(\bar{z})d(\Delta H)$$

Nhưng $\Delta H = \bar{z} - \bar{z}_o$ và khi đã cho $\bar{z}_o$, tức là khi $\bar{z}_o = \text{const}$ thì $d(\Delta H) = d\bar{z}$, do đó:

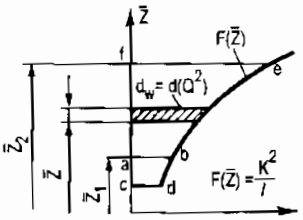
$$d(Q^2) = F(\bar{z})dz$$

và vì vậy:
$$Q^2 = \int d(Q^2) = \int F(\bar{z})dz + C = \Phi(\bar{z}) + C \qquad (9\text{-}41)$$

Hàm $F(\bar{z}) = (K^2/l)$ có thể biểu diễn bằng đường cong (hình 9.29). Diện tích gạch chéo dω là đại lượng $d(Q^2)$. Do đó, có thể viết tích phân (9-41) như sau:

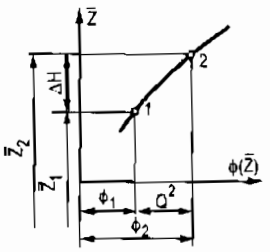
$$Q^2 = \int_{Q^2=Q_1^2}^{Q^2=Q_2^2} d(Q^2) = \int_{\omega_1}^{\omega_2} d\omega = \omega_2 - \omega_1 = \int_{z=z_1}^{z=z_2} F(\bar{z})dz = \Phi(\bar{z}_2) - \Phi(\bar{z}_1)$$

Ở đây hàm $\Phi(z_1)$ là diện tích ω_1 (trên hình 9.29 là diện tích abcd), còn $\Phi(\bar{z}_2)$ là ω_2 (diện tích efcd). Rõ ràng là đại lượng $\omega = \omega_2 - \omega_1$ (tức là Q^2) ứng với cao trình đã cho $\bar{z}_1$ sẽ phụ thuộc vào giới hạn trên $\bar{z}_2$, tức là vào đại lượng Δz (hoặc vào đại lượng ΔH), mặt khác với cùng một giá trị ω, đại lượng Δz (hoặc ΔH) lại phụ thuộc vào cao trình ban đầu $\bar{z}$.



Hình 9.29

Bởi vậy, khi đã cho cao trình $\bar{z}_1$ và trị số lưu lượng hoặc Q^2, thì có thể tìm cao trình $\bar{z}_2$ hoặc $\Delta H = \bar{z}_2 - \bar{z}_1$, tức là có thể tìm được độ hạ thấp mực nước ở đoạn đang xét.



Hình 9.30

Có thể xác định ΔH một cách đơn giản hơn bằng cách vẽ đường cong[1] $\Phi(z)$ (hình 9.30). Đường $\Phi(\bar{z})$ được gọi là "đường cong tựa". Nếu như đường này đã được vẽ cho tuyến giữa của đoạn sông tính toán, thì với bất kì lưu lượng nào và bất kì cao trình z nào cũng có thể xác định được độ hạ thấp mặt nước trên đoạn ấy một cách dễ dàng. Muốn thế, theo trị số $\bar{z}_1$ đã cho, ta tìm

[1] $\phi(\bar{z}) = \omega$, tức là bằng diện tích ghi trên hình 9.29, trong đó $\omega = Q^2$.

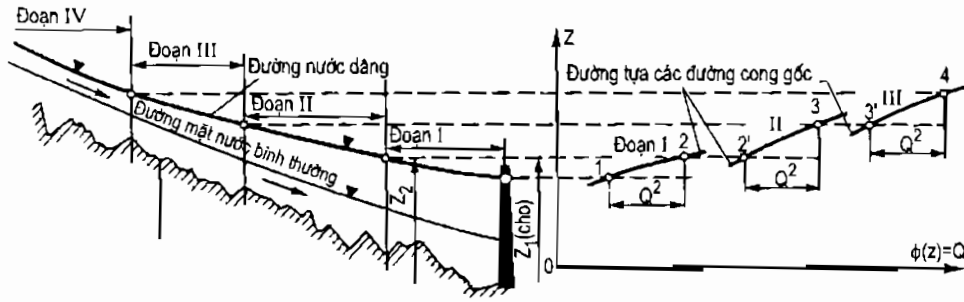
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

trên đường cong tựa điểm 1 và đặt dọc trục $\Phi(\overline{z})$ đoạn Q^2, ta tìm được trên đường cong điểm 2 (hình 9.30). Như vậy ta xác định được đại lượng:

$$\Delta H = \overline{z}_2 - \overline{z}_1 \ ^{(1)}$$

Thực tế, đường cong tựa $\Phi(\overline{z})$ được vẽ ở các cao trình thống nhất z_1 cho những tuyến cuối của một số đoạn sông tính toán được bố trí nối tiếp nhau ngược theo chiều dòng chảy (hình 9.31). Lúc đó theo cao trình đã cho z_1 của tuyến dưới của công trình dâng nước, bằng đồ thị có thể xác định được các cao trình ở tất cả các tuyến nằm phía trên (các điểm 2, 3, 4 ...) như đã ghi trên hình 9.31. Điều đó cho phép ta vẽ rất nhanh toàn bộ đường nước dâng.



Hình 9.31

Trong thực tế, việc vẽ đường cong tựa được tiến hành như sau[2]. Dùng các số liệu đo đạc thủy văn ở một số tuyến sông, mà đối với mỗi tuyến ta chọn một số mực nước quan trắc được là z_1, z_2, z_3, ... z_n, một số các lưu lượng tương ứng Q_1, Q_2, Q_3, ... Q_n và độ hạ thấp mặt nước giữa những tuyến đã cho và những tuyến nằm phía trên là Δz_1, Δz_2, Δz_3, ..., Δz_n. Trong đó phải chọn các mực nước thế nào để khi mực nước tự do nằm tương đối cao thuộc tuyến dưới bằng cao trình của mực nước tự do của tuyến trên mà tính theo chiều cao thì mực nước tự do đó là mực nước thấp tận tuyến trên của đoạn này, nghĩa là nếu cao trình của mặt nước ở tuyến đã cho bằng z_1 và độ hạ thấp trên đoạn này là Δz_1 thì mực nước ở vị trí cao hơn phải chọn sao cho có cao trình $z_2 = z_1 + \Delta z_1$.

Trong trường hợp này, theo trục z ta đặt liên tiếp Δz_1, Δz_2, ..., Δz_n, còn theo trục $\Phi(z) = Q^2$ đặt các giá trị tương ứng Q_1^2, Q_2^2, ... Q_n^2 bắt đầu từ điểm A chọn tùy ý.

---

(1) Ở đây, đại lượng $\overline{z}_2$, thực chất không phải là cao trình của tuyến giữa của đoạn nằm phía trên, vì $\Delta H = \overline{z}_2 - \overline{z}_1$ chỉ là độ hạ thấp mực nước của đoạn ta đang tính toán.

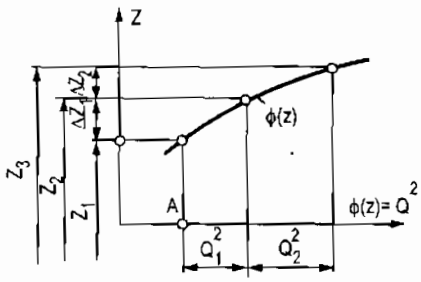
(2) Agrôxkin I. I., Đmitriep G. T., Pikalôp F. I. Thủy lực học M - L, NXB NL, 1950.

https://tieulun.hopto.org

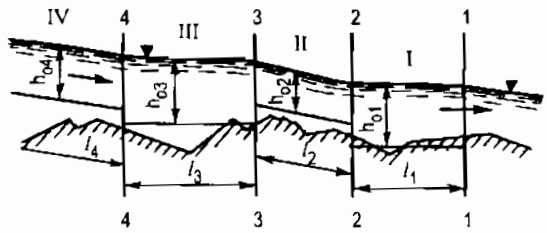
www.thuvien247.net

Như vậy sẽ xác định được các tọa độ của đường cong tựa Φ(z) (hình 9.32). Làm tương tự sẽ vẽ được đường cong tựa cho mỗi tuyến.

Ghi chú: Các phương pháp của N. N. Pavlôpxki và N. M. Becnatxki là các phương pháp chính xác nhất, nếu các đường cong nước dâng trong sông được vẽ trong phạm vi cao trình mặt nước không vượt quá mực nước lớn nhất trong các điều kiện bình thường, còn các đường cong môđun sức cản của lòng dẫn (theo phương pháp của N. N. Pavlôpxki) và các đường cong tựa (theo phương pháp N. M. Becnatxki) được vẽ theo các số liệu quan trắc thủy văn của đoạn sông.



Hình 9.32



Hình 9.33

e) Phương pháp lòng dẫn tương đương

1. Thay lòng dẫn thực bằng lòng dẫn lăng trụ (phương pháp cơ bản)

Như đã giới thiệu ở trên, dòng chảy được chia ra nhiều đoạn, với mỗi một đoạn đã tính trước các trị số "bình quân" các yếu tố thủy lực ω, B, h và các trị số khác và sau đó thay thế lòng dẫn thực bằng lòng dẫn lăng trụ có các yếu tố thủy lực đã được tính ra. Các yếu tố này được dùng trong tính toán như là các đại lượng tương đương với các yếu tố của lòng dẫn thực. Độ dốc đáy của lòng dẫn này bằng độ dốc của đường mặt nước (chúng khác nhau trên các đoạn khác nhau), còn độ sâu ở đây được xem là bằng độ sâu của chuyển động đều h_o (hình 9.33).

Các giá trị trung bình của các yếu tố thủy lực của lòng dẫn được xác định theo công thức[1]:

$$x_{tb} = \frac{x_d + x_c}{2} \qquad (9\text{-}42)$$

hoặc khi có các mặt cắt trung gian thì theo công thức:

$$x_{tb} = \frac{\Sigma x}{n} \qquad (9\text{-}42')$$

[1] Jurin V. Đ. Thủy lực học, 1925.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

hoặc, chính xác hơn, dùng phương pháp bình quân trọng khối:

$$x_{tb} = \frac{x'l' + x''l'' + ... + x^n l^n}{\Sigma l} \qquad (9\text{-}42'')$$

Khi có bình đồ của sông, thì chiều rộng trung bình của đoạn đang xét có thể xác định theo công thức:

$$B_{tb} = \frac{\Omega}{l}$$

trong đó: Ω và l - diện tích mặt nước đo được theo bình đồ và chiều dài của đoạn sông.

Chiều sâu trung bình lấy bằng chiều sâu của chuyển động đều h_o, là chiều sâu được xác định theo các công thức nói trên và lấy bằng trị số trung bình của các chiều sâu theo mặt cắt dọc, tức là lấy trung bình các chiều sâu "lớn nhất" của mỗi mặt cắt ngang trung gian. Cũng có thể xác định chiều sâu trung bình theo công thức:

$$h_{tb} = \frac{\omega_{tb}}{B_{tb}}$$

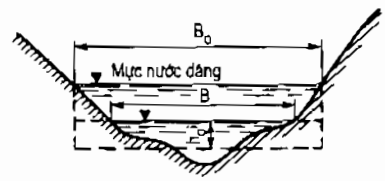
Như vậy, lòng dẫn thực đã được biến đổi thành lòng dẫn hình chữ nhật.

Ghi chú: Cần chú ý là, nếu như các số liệu điều tra và khảo sát cho phép tiến hành "chỉnh lí" lòng dẫn như đã nói trên, thì nếu biết được lưu lượng Q tương ứng, ta cũng có thể xác định được hệ số nhám "trung bình" của đoạn đã cho. Nếu hệ số nhám dùng để tính toán không bằng hệ số nhám thực thì việc vẽ đường cong nước dâng sẽ có thể rất không chính xác.

Đường nước dâng cho mỗi đoạn riêng được tiến hành vẽ theo phương trình (9-20).

2. Lòng dẫn thực được thay bằng lòng dẫn chữ nhật tương đương (phương pháp Tônman)

Căn cứ vào số liệu xác định trong thiên nhiên, sau khi chọn hệ số nhám và chiều rộng của lòng dẫn tương đương bằng giá trị trung bình B_o của đoạn đã cho trong trường hợp nước dâng, ta tính chiều sâu h_o (theo hình 9.34) có độ dốc i ứng với lưu lượng Q bằng độ dốc của đoạn đã cho trong các điều kiện thiên nhiên. Do đó, ta tìm được h_o theo công thức:



Hình 9.34

$$Q = B_o h_o C_o \sqrt{h_o i} \qquad (9\text{-}43)$$

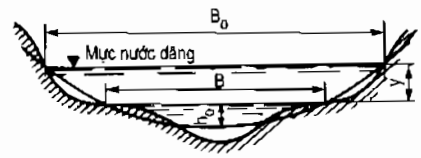
trong đó: Q và i đã cho, còn B_o phải tìm như đã nói trên.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

3. Lòng dẫn thực được thay bằng lòng dẫn parabôn tương đương (phương pháp Tôtman)

Trong trường hợp này phải tính cả chiều rộng mặt nước B cũng như chiều sâu của chuyển động đều h_o. Đối với các đại lượng nói trên, khi tính toán cần phải duy trì điều kiện sao cho lưu lượng đã cho đi qua độ dốc i tương ứng với độ dốc trên đoạn lòng dẫn thiên nhiên và đồng thời sao cho chiều rộng mặt nước dâng B[1] xác định khi chảy đều (ứng với độ sâu h_o) phải tăng lên đến trị số "trung bình" B_o khi nước dâng (hình 9.35), tức là ứng với độ sâu bằng $(h_o + y)$; B_o và h_o được xác định theo các công thức:



Hình 9.35

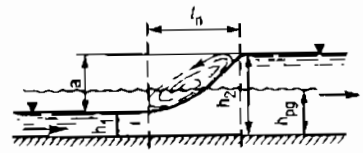
$$Q = 2/3BC_o\sqrt{2/3h_oi} \approx 0,55BC_o\sqrt{h_oih_o}$$

$$B = B_o\sqrt{\frac{h_o}{h_o + y}} \qquad (9\text{-}44)$$

Giải các phương trình này[2] cũng giống như trong mọi trường hợp tương tự hoặc bằng phương pháp thử dần hoặc bằng phương pháp đồ giải.

9.6. NƯỚC NHẢY

Nước nhảy thường phát sinh khi dòng chảy đang ở trạng thái chảy xiết, tức là có chiều sâu bé hơn chiều sâu phân giới $h_1 < h_{pg}$, chuyển sang trạng thái chảy êm, tức là dòng chảy có chiều sâu $h_2 > h_{pg}$ (hình 9.36).



Hình 9.36

a) Các công thức cơ bản

Chiều sâu h_1 trước nước nhảy và h_2 sau nước nhảy được gọi là các chiều sâu nối tiếp hoặc liên hiệp. Hiệu $a = h_2 - h_1$ giữa các chiều sâu đó được gọi là chiều cao nước nhảy. Khu vực có chuyển động quay trên luồng chảy cơ bản trong nước nhảy (hình 9.36) được gọi là nước vật mặt. Điểm 0, mà từ đó dòng chảy mặt hướng theo

---

[1] Ở đây B không bằng chiều rộng mặt nước trong các điều kiện thiên nhiên ứng với lưu lượng Q.

[2] Ở đây B_o và y là đã biết, các đại lượng cần tìm là B và h_o.

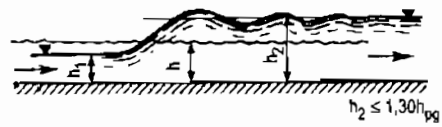
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

các phía khác nhau, được gọi là điểm "phân cách". Chiều dài của hình chiếu ngang của nước vật mặt được gọi là "chiều dài nước nhảy" l_n[1].

Các dạng cơ bản của nước nhảy

Nước nhảy ở dạng hoàn chỉnh phát sinh khi độ cao nước nhảy $a = h_2 - h_1$ tương đối lớn (hình 9.36). Theo số liệu của nhiều nhà nghiên cứu, nếu chiều sâu sau nước nhảy lớn hơn chiều sâu phân giới khoảng 30 - 40% thì có thể xem gần đúng là nước nhảy ở dạng hoàn chỉnh (nước nhảy hoàn chỉnh). Trong trường hợp ngược lại sẽ xuất hiện một dạng nước nhảy khác, gọi là nước nhảy - sóng (hình 9.37), không có nước vật mặt như trên hình 9.36.



Hình 9.37

Các số liệu về các chiều sâu nối tiếp nêu sau đây là thuộc về nước nhảy ở dạng hoàn chỉnh.

b) Nước nhảy trong lòng dẫn lăng trụ

1. Các chiều sâu nối tiếp

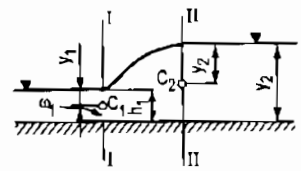
Trường hợp chung. Đối với các lòng dẫn lăng trụ có hình dạng bất kì thì các chiều sâu nối tiếp được xác định theo phương trình cơ bản của nước nhảy (chiều sâu nọ xác định qua chiều sâu kia):

$$\frac{Q^2}{g\omega_1} + y_1\omega_1 = \frac{Q^2}{g\omega_2} + y_2\omega_2 \qquad (9\text{-}45)$$

trong đó:

ω_1 và ω_2 - các diện tích của mặt cắt ướt trước và sau nước nhảy;

y_1 và y_2 - chiều sâu trọng tâm của diện tích ω_1 và ω_2 (hình 9.38).



Hình 9.38

Biểu thức $\left(\frac{Q^2}{g\omega} + y\omega\right)$ là hàm của chiều sâu và theo đề nghị của V. Đ. Jurin được gọi là hàm số nước nhảy N(h)[2]. Theo công thức (9-45).

---

[1] Nhiều nhà nghiên cứu xác định chiều dài nước nhảy theo cách khác (xem "Thủy lực học" của I. I. Agrôxkin, G. T. Đmitriep, F. I. Pikalôp, NXB Năng lượng, 1954).

[2] Jurin V. Đ. Thủy lực học, 1925.

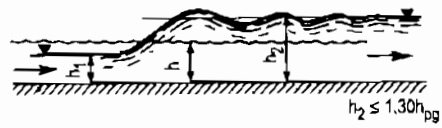
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

các phía khác nhau, được gọi là điểm "phân cách". Chiều dài của hình chiếu ngang của nước vật mặt được gọi là "chiều dài nước nhảy" l_n[1].

Các dạng cơ bản của nước nhảy

Nước nhảy ở dạng hoàn chỉnh phát sinh khi độ cao nước nhảy $a = h_2 - h_1$ tương đối lớn (hình 9.36). Theo số liệu của nhiều nhà nghiên cứu, nếu chiều sâu sau nước nhảy lớn hơn chiều sâu phân giới khoảng 30 - 40% thì có thể xem gần đúng là nước nhảy ở dạng hoàn chỉnh (nước nhảy hoàn chỉnh). Trong trường hợp ngược lại sẽ xuất hiện một dạng nước nhảy khác, gọi là nước nhảy - sóng (hình 9.37), không có nước vật mặt như trên hình 9.36.



Hình 9.37

Các số liệu về các chiều sâu nối tiếp nêu sau đây là thuộc về nước nhảy ở dạng hoàn chỉnh.

b) Nước nhảy trong lòng dẫn lăng trụ

1. Các chiều sâu nối tiếp

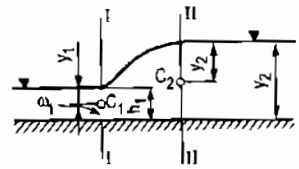
Trường hợp chung. Đối với các lòng dẫn lăng trụ có hình dạng bất kì thì các chiều sâu nối tiếp được xác định theo phương trình cơ bản của nước nhảy (chiều sâu nọ xác định qua chiều sâu kia):

$$\frac{Q^2}{g\omega_1} + y_1\omega_1 = \frac{Q^2}{g\omega_2} + y_2\omega_2 \qquad (9\text{-}45)$$

trong đó:

ω_1 và ω_2 - các diện tích của mặt cắt ướt trước và sau nước nhảy;

y_1 và y_2 - chiều sâu trọng tâm của diện tích ω_1 và ω_2 (hình 9.38).



Hình 9.38

Biểu thức $\left(\frac{Q^2}{g\omega} + y\omega\right)$ là hàm của chiều sâu và theo đề nghị của V. Đ. Jurin được gọi là hàm số nước nhảy N(h)[2]. Theo công thức (9-45).

---

[1] Nhiều nhà nghiên cứu xác định chiều dài nước nhảy theo cách khác (xem "Thủy lực học" của I. I. Agrôxkin, G. T. Đmitriep, F. I. Pikalôp, NXB Năng lượng, 1954).

[2] Jurin V. Đ. Thủy lực học, 1925.

https://tieulun.hopto.org

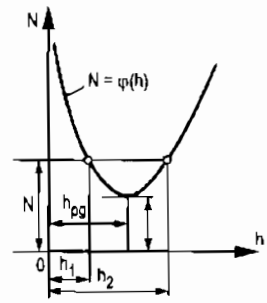
www.thuvien247.net

$$N(h_1) = N(h_2) \qquad (9\text{-}45')$$

Khi đã biết lưu lượng và một trong các chiều sâu nối tiếp (ví dụ h_1), thì dễ dàng tính được đại lượng hàm số nước nhảy và trong bài toán cụ thể nó là đại lượng đã biết. Chiều sâu liên hiệp thứ hai được xác định theo phương trình:

$$\frac{Q^2}{g\omega_2} + y_2\omega_2 = N(h_1) \qquad (9\text{-}45'')$$

Phương trình này thường được giải bằng cách thử dần hoặc bằng cách vẽ đồ thị hàm số N(h) với lưu lượng Q đã cho (hình 9.39).



Hình 9.39

Ghi chú: Kết quả phân tích phương trình (9-45) chứng tỏ hàm số nước nhảy có giá trị cực tiểu khi chiều sâu $h \approx h_{pg}$. Do đó nếu lấy $h_1 \approx h_{pg}$, thì $h_2 \approx h_{pg}$, tức là các chiều sâu nối tiếp sẽ bằng nhau.

• *Kênh hình chữ nhật:* Trong trường hợp này các chiều sâu nối tiếp được xác định theo các công thức:

$$h_2 = \frac{h_1}{2}\left[\sqrt{1 + 8\frac{q^2}{gh_1^3}} - 1\right]; \qquad h_1 = \frac{h_2}{2}\left[\sqrt{1 + 8\frac{q^2}{gh_2^3}} - 1\right] \qquad (9\text{-}46)$$

$$h_2 = \frac{h_1}{2}\left[\sqrt{1 + 8\left(\frac{h_{pg}}{h_1}\right)^3} - 1\right]; \qquad h_1 = \frac{h_2}{2}\left[\sqrt{1 + 8\left(\frac{h_{pg}}{h_2}\right)^3} - 1\right] \qquad (9\text{-}46')$$

Đối với nước nhảy có chiều cao lớn, có thể xác định gần đúng theo:

$$h_2 = \frac{h_1}{2}\left[2{,}83\left(\frac{h_{pg}}{h_1}\right)^{3/2} - 1\right] \qquad (9\text{-}47)$$

Khi $h_{pg} \geq 4h_1$, chiều sâu sau nước nhảy có thể xác định nhanh hơn theo công thức đơn giản:

$$h_2 = 1{,}40h_{pg}\sqrt{\frac{h_{pg}}{h_1}} \qquad (9\text{-}48)$$

sai số ở đây chiếm khoảng gần 6%.

Nếu dùng tỉ số $\xi_1 = h_1/h_{pg}$ và $\xi_2 = h_2/h_{pg}$ trong công thức (9-46), thì ta có quan hệ:

$$\xi_2 = f(\xi_1) \qquad (9\text{-}49)$$

Điều đó cho phép lập một đồ thị để tiện tính toán (hình 9.40).

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Ví dụ: Cho độ sâu phân giới h_{pg} = 0,8m và độ sâu trước nước nhảy h_1 = 0,2m. Xác định độ sâu nước nhảy, tức là h_2, nối tiếp với độ sâu h_1.

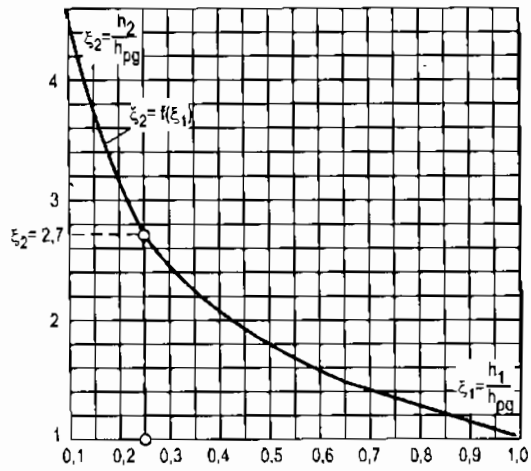
Giải:

1- Tính tỉ số:

$$\xi_1 = \frac{h_1}{h_{pg}} = \frac{0,2}{0,8} = 0,25$$

2- Sau đó theo đồ thị trên hình 9.40, đối với ξ_1 = 0,25 ta tìm giá trị ξ_2 = 2,7. Khi đó độ sâu h_2 cần tìm được xác định theo công thức:

$$h_2 = \xi_2 h_{pg} = 2,7.0,8 = 2,16m$$



Hình 9.40: *Đồ thị để xác định chiều sâu nối tiếp trong kênh chữ nhật*

3- Theo công thức (9-48) ta sẽ có:

$$h_2 = 1,40h_{pg}\sqrt{\frac{h_{pg}}{h_1}} = 1,40.0,8\sqrt{\frac{0,8}{0,2}} = 2,24m$$

• *Kênh hình thang:* Trong trường hợp này các chiều sâu nối tiếp được xác định theo phương trình cơ bản của nước nhảy (9-45), cụ thể là:

$$\frac{Q^2}{g\omega_1} + y_1\omega_1 = \frac{Q^2}{g\omega_2} + y_2\omega_2$$

Khi $h_2 \geq 5h_{pg}$, để tính gần đúng các chiều sâu nối tiếp có thể xác định theo công thức của Rakhmanôp:

$$h_2 = \frac{1,2h_{pg}^2}{h_1 + 0,2h_{pg}} \qquad (9\text{-}50)$$

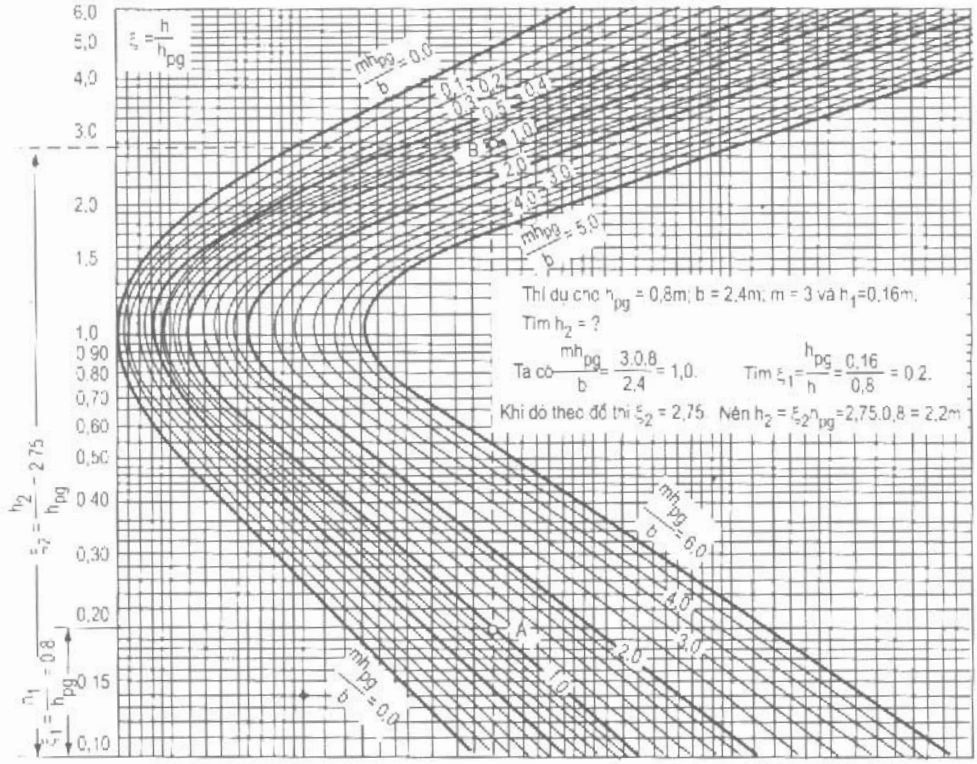
$$h_1 = 1,2\frac{h_{pg}^2}{h_2} - 0,2h_{pg} \qquad (9\text{-}51)$$

Trong các trường hợp khác, tốt nhất là dùng đồ thị của Rakhmanôp trình bày trên hình 9.41 (ở dạng đơn giản và có thay đổi ít nhiều). Trên đồ thị, đường biểu diễn hàm số mh_{pg}/b được vẽ trên lưới lôgarit. Mỗi một cặp điểm bố trí trên một đường thẳng đứng của các đường ấy sẽ tương ứng với các độ sâu liên hiệp và được

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

biểu thị bằng hàm số $\xi = h/h_{pg}$. Đường cong cuối cùng bên trái (khi $mh_{pg}/b = 0$) có thể dùng cho lòng dẫn chữ nhật có chiều rộng rất lớn.



***Hình 9.41**: Đồ thị để xác định các chiều sâu nối tiếp trong kênh hình thang*

Như vậy, nếu biết chiều rộng đáy b, hệ số mái dốc m, chiều sâu phân giới h_{pg} và một trong các chiều sâu nối tiếp, ví dụ h_1 của kênh tính toán, thì có thể tìm chiều sâu nối tiếp thứ hai h_2 bằng cách trước hết tính đại lượng mh_{pg}/b, sau đó xác định $\xi_1 = h_1/h_{pg}$ và dùng đường cong mh_{pg}/b trên đồ thị, với giá trị ξ_1 đã tính, tìm ra $\xi_2 = h_2/h_{pg}$. Chiều sâu h_2, nối tiếp với chiều sâu h_1, sẽ được tính theo công thức:

$$h_2 = \xi_2 h_{pg}$$

Ví dụ bằng số về cách sử dụng đồ thị được trình bày trên hình 9.41.

2 Chiều dài nước nhảy

Chỉ có thể xác định được gần đúng chiều dài nước nhảy. Chiều dài nước nhảy theo các số liệu thí nghiệm bằng:

$$l_n = (4 + 5)(h_2 - h_1) \qquad (9\text{-}52)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

N. N. Pavlôpxki xác định chiều dài nước nhảy theo công thức:

$$l_n = 2,5(1,9h_2 - h_1) \tag{9-53}$$

Công thức của V. I. Aravin:

$$l_n = \left[0,18\left(\frac{h_{pg}}{h_1}\right)^{4,35} + 25\right]\frac{(h_2 - h_1)^3 h_1^2}{h_{pg}^3 h_2} \tag{9-54}$$

Công thức của V. A. Saomian

$$l_n = 3,6(h_2 - h_1)\left(1 + \frac{h_1}{h_2}\right)^2 \tag{9-55}$$

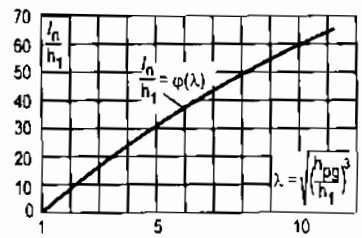
M. Đ. Tsectôuxôp đề nghị công thức:

$$l_n = 10,3h_1\left[\sqrt{\left(\frac{h_{pg}}{h_1}\right)^3 - 1}\right]^{0,81} \tag{9-56}$$

Theo công thức (9-56), để tính toán được đơn giản, M. Đ. Tsectôuxôp đã lập đồ thị (hình 9.42), mà với các tọa độ l_n/h_1 và λ ta được quan hệ:

$$\frac{l_n}{h_1} = f(\lambda) \tag{9-56'}$$

trong đó: $\lambda = \sqrt{\left(\frac{h_{pg}}{h_1}\right)^3}$.



Hình 9.42: *Đồ thị để xác định chiều dài nước nhảy theo công thức M. Đ. Tsectôuxôp* $l_n = 10,3h_1(\lambda - 1)^{0,81}$

Việc áp dụng đồ thị này để tính toán không đòi hỏi phải giải thích thêm. Công thức của M. Đ. Tsectôuxôp có thể viết dưới dạng:

$$l_n = 10,3h_1(\sqrt{Fr_1} - 1)^{0,81} = f(Fr_1)h_1 \tag{9-57}$$

trong đó: số Frut (Fr_1) được xác định theo công thức:

$$Fr_1 = \frac{\alpha v_1^2}{gh_1} = \left(\frac{h_{pg}}{h_1}\right)^3 \tag{9-58}$$

Để giảm nhẹ tính toán theo công thức (9-57), có thể dùng bảng 9.9, trên đó cho các giá trị $f(Fr) = 10,3\left[\sqrt{Fr_1} - 1\right]^{0,81}$ phụ thuộc vào đại lượng của số Frut Fr_1.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 9.9. Các giá trị của hàm số (Fr_1) bằng $f(Fr) = 10,3\left[\sqrt{Fr_1} - 1\right]^{0,81}$

Fr_1	$f(Fr_1)$	Fr_1	$f(Fr_1)$	Fr_1	$f(Fr_1)$	Fr_1	$f(Fr_1)$
3,00	8,00	5,75	13,51	14,0	23,3	44,0	41,8
3,10	8,25	6,00	13,92	15,0	24,2	46,0	42,7
3,20	8,50	6,25	14,31	16,0	25,1	48,0	43,5
3,30	8,74	6,50	14,69	17,0	25,9	50,0	44,4
3,40	8,98	6,75	15,06	18,0	26,6	52,0	45,2
3,50	9,21	7,00	15,42	19,0	27,5	54,0	46,0
3,60	9,43	7,25	15,78	20,0	28,2	56,0	46,8
3,70	9,66	7,50	16,12	22,0	29,7	58,0	47,6
3,80	9,88	7,75	16,46	24,0	31,0	60,0	48,4
3,90	10,09	8,00	16,79	26,0	32,3	65,0	50,2
4,00	10,30	8,50	17,43	28,0	33,5	70,0	51,9
4,20	10,71	9,00	18,06	30,0	34,7	75,0	53,6
4,40	11,10	9,50	18,65	32,0	35,8	80,0	55,2
4,60	11,50	10,00	19,23	34,0	36,9	85,0	56,7
4,80	11,87	10,50	19,80	36,0	37,9	90,0	58,2
5,00	12,23	11,00	20,3	38,0	38,9	95,0	59,7
5,25	12,66	12,00	21,4	40,0	39,9	100,0	61,1
5,50	13,10	13,00	22,4	42,0	40,9		

Một trong số các công thức mới nhất là công thức của O. M. Aivadian:

$$l_n = kh_w \qquad (9\text{-}59)$$

trong đó: $h_w = \dfrac{a^3}{4h_1h_2}$ - trị số tổn thất cột nước trong nước nhảy;

$k = f(Fr_1)$ - hệ số phụ thuộc vào số Frut: $k = 8\dfrac{10 + \sqrt{Fr_1}}{Fr_1}$.

Công thức của O. M. Aivadian được xây dựng trên cơ sở lí thuyết và tổng kết các kết quả nghiên cứu thực nghiệm. Kết quả tính toán theo công thức Aivadian thực tế trùng với kết quả tính toán theo công thức của Tsêctôuxôp trong các điều kiện với số Frut lớn.

Mặc dù có giá trị như nhau, nhưng các công thức đáng tin cậy nhất vẫn là công thức của M. Đ. Tsectôuxôp và O. M. Aivadian.

Thí dụ: Cho v = 15 m/s; h = 0,5m. Xác định chiều dài nước nhảy theo công thức của Tsectôuxôp.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Giải:

1- Ta tính số Frut: $$Fr_1 = \frac{\alpha v_1^2}{g h_1} = \frac{1,10.15^2}{9,81.0,5} = 50,5$$

2- Theo số Frut trong bảng 9.9, ta tìm trị số: $f(Fr_1) = 44,6$.

3- Khi đó chiều dài nước nhảy sẽ bằng:

$$l_n = h_1 f(Fr_1) = 0,5.44,6 = 22,3m$$

4- Theo công thức (9-46) ta sẽ có:

$$h_2 = \frac{h_1}{2}\left[\sqrt{1+8Fr_1} - 1\right] = \frac{0,5}{2}\left[\sqrt{1+8.50,5} - 1\right] = 4,8m$$

5- Khi đó tổn thất cột nước trong nước nhảy sẽ bằng:

$$h_w = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1h_2} = \frac{(4,8-0,5)^3}{4.4,8.0,5} = 8,28m$$

6- Hệ số "k" được tìm theo công thức:

$$k = 8\frac{10+\sqrt{Fr_1}}{Fr_1} = 8\frac{10+\sqrt{50,5}}{50,5} = 2,71$$

7- Do đó, chiều dài nước nhảy theo công thức của O. M. Aivadian sẽ bằng:

$$l_n = kh_w = 2,71.8,28 = 22,4\ m$$

Ở trên, theo công thức của Tsectôuxôp, ta đã tính được $l_n = 22,4m$.

3. Tổn thất năng lượng trong nước nhảy

Đại lượng tổn thất cột nước trong nước nhảy được xác định theo công thức:

$$h_\omega = \left(h_1 + \frac{v_1^2}{2g}\right) - \left(h_2 + \frac{v_2^2}{2g}\right) \qquad (9\text{-}60)$$

trong đó: h_1 và h_2 - các chiều sâu nối tiếp;

v_1 và v_2 - vận tốc trung bình trong các mặt cắt trước và sau nước nhảy ứng với các chiều sâu h_1 và h_2.

Đối với lòng dẫn chữ nhật, công thức này được biến đổi thành:

$$h_\omega = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1h_2} \qquad (9\text{-}61)$$

hoặc: $$h_\omega = \frac{a^3}{4h_1h_2} \qquad (9\text{-}62)$$

trong đó: $a = (h_2 - h_1)$ - chiều cao nước nhảy.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Ghi chú: Tổn thất năng lượng trong nước nhảy tính theo công thức (9-60) bé hơn tổn thất tính theo công thức tổn thất cột nước khi mở rộng đột ngột:

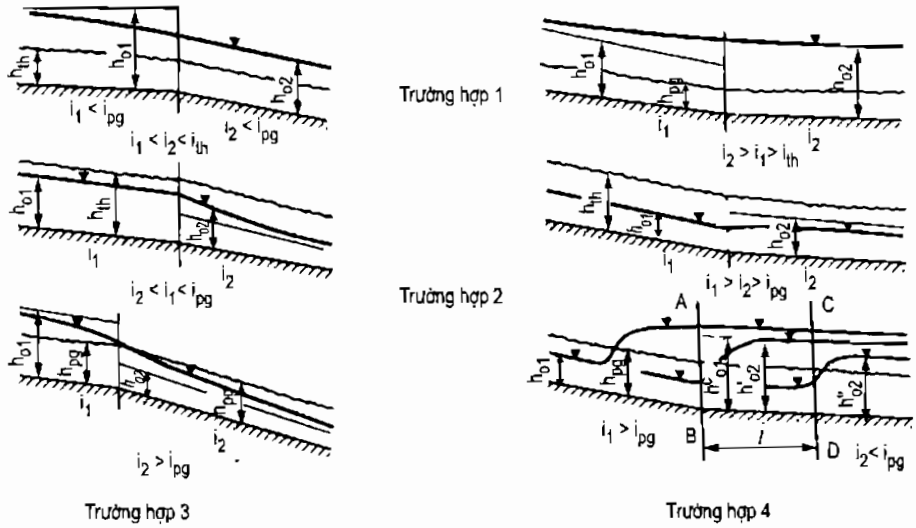
$$h_w = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} \qquad (9\text{-}63)$$

Vì vậy tính tổn thất năng lượng trong nước nhảy theo công thức sau sẽ có sai số.

Theo kết quả nghiên cứu của A. N. Akhuchin, tỉ số phần trăm giá trị tổn thất năng lượng trong nước nhảy đối với năng lượng ban đầu ở mặt cắt trước nước nhảy vào khoảng 50 - 60% và có khi hơn nữa.

9.7. SỰ THAY ĐỔI ĐỘ DỐC

a) Khi độ dốc thay đổi một lần thì tùy theo quan hệ giữa i và i_{pg} mà có thể có bốn trường hợp nối tiếp của mặt thoáng dòng chảy giữa hai đoạn có hai độ dốc khác nhau, như trên hình 9.43. Các sơ đồ mặt thoáng vẽ trên hình 9.43 là các sơ đồ cơ bản.



Hình 9.43

I - Nước nhảy ở vị trí phân giới; II - Nước nhảy xa; III - Nước nhảy gần

Ghi chú: Ở đây và sau này, trên các hình vẽ và các lời giải thích sẽ dùng các kí hiệu sau: h_{pg} - chiều sâu phân giới; h_o - chiều sâu "bình thường" tức là chiều sâu chuyển động đều; h_{o1}, h_{o2}, ..., h_{on} - chiều sâu "bình thường" (tương ứng với chỉ số bên dưới) tại các mặt cắt 1-1, 2-2 v.v... hoặc trên các đoạn thứ nhất, thứ hai v.v... của kênh đang xét; h_o^c, h_{o1}^c, ... và h_1^c, h_2^c, ... với chỉ số "c" ở trên) chiều sâu nối tiếp với chiều sâu có kí hiệu bên dưới; i_1, i_2, ... i_n; i_{pg} - các độ dốc đáy lần lượt là của đoạn kênh thứ nhất, thứ hai v.v... và độ dốc phân giới.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Trong ba trường hợp đầu (hình 9.43) sự nối tiếp của mặt thoáng của đoạn trên với mặt thoáng của đoạn dưới không qua nước nhảy, vì các chiều sâu mực nước của các đoạn trên và dưới của kênh h_{o1} và h_{o2} đồng thời lớn hơn hoặc nhỏ hơn h_{pg}; trong trường hợp thứ ba chiều sâu của đoạn trên $h_{o1} > h_{pg}$, còn chiều sâu của đoạn dưới $h_{o2} < h_{pg}$. Nước nhảy chỉ được hình thành khi chuyển từ chiều sâu $h_1 < h_{pg}$ sang $h_2 > h_{pg}$. Trong trường hợp thứ tư (hình 9.43) sự nối tiếp xảy ra với sự hình thành nước nhảy, trong đó có thể có ba dạng nối tiếp khác nhau: nước nhảy xa, nước nhảy tại vị trí phân giới và nước nhảy gần.

Nước nhảy sẽ ở vị trí phân giới, tức là nó được hình thành ngay tại mặt cắt AB (hình 9.43), nếu chiều sâu h_{o1}^{c} [1] nối tiếp với chiều sâu h_{o1} ở cuối đoạn thứ nhất bằng chiều sâu bình thường của đoạn thứ hai, tức là nếu $h_{o1}^{c} = h_{o2}$.

Nước nhảy sẽ ở xa nếu $h_{o1}^{c} = h_{o2}$ *và nước nhảy sẽ ở gần nếu* $h_{o1}^{c} < h_{o2}$.

Đối với lòng dẫn lăng trụ chữ nhật, chiều sâu nối tiếp h_{o1}^{c} được tính theo công thức:

$$h_{o1}^{c} = \frac{h_{o1}}{2}\left[\sqrt{1+8\left(\frac{h_{pg}}{h_{o1}}\right)^{3}} - 1\right] \qquad (9\text{-}64)$$

còn đối với lòng dẫn lăng trụ có mặt cắt ngang bất kì - theo công thức tổng quát về hàm nước nhảy [công thức (9-45)]:

$$\frac{Q^2}{g\omega_1} + y_1\omega_1 = \frac{Q^2}{g\omega_2} + y_2\omega_2$$

Trong trường hợp nước nhảy xa, khoảng cách *l* từ mặt cắt AB đến mặt cắt CD (hình 9.43) được gọi là *độ bay xa của nước nhảy*. Độ bay xa được xác định bằng các phương trình (9-20), (9-26) theo các chiều sâu tại mặt cắt AB và tại mặt cắt CD. Ở đây, chiều sâu tại mặt cắt AB được lấy bằng chiều sâu bình thường (tức là bằng chiều sâu chuyển động đều) của đoạn thứ nhất (tại đó $i_1 > i_{pg}$), còn chiều sâu tại mặt cắt CD được tính như chiều sâu nối tiếp với chiều sâu bình thường của đoạn thứ hai (tại đó $i_2 < i_{pg}$).

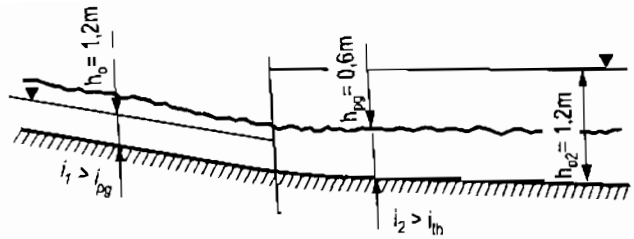
Thí dụ: Xác định tính chất nối tiếp của đường mặt nước trong kênh lăng trụ có mặt cắt hình chữ nhật như sơ đồ trên hình 9.43a. Cho $h_{o1} = 0{,}2m$, $h_{o2} = 1{,}2m$ và $h_{pg} = 0{,}6m$.

---

[1] Chiều sâu h_{o1}^{c} được gọi là "chiều sâu phân chia" xem mục 9.9 "Nối tiếp thượng hạ lưu".

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



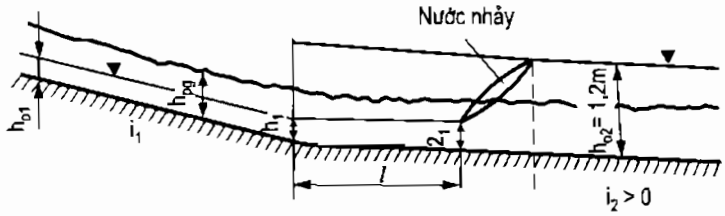
Hình 9.43a

Giải:

1- Ta xác định chiều sâu nối tiếp với chiều sâu của chuyển động đều tại đoạn kênh bên trên (trước chỗ có độ dốc thay đổi).

$$h_{o1}^{c} = \frac{h_{o1}}{2}\left[\sqrt{1+8\left(\frac{h_{pg}}{h_{o1}}\right)^3}-1\right] = \frac{0,2}{2}\left[\sqrt{1+8\left(\frac{0,6}{0,2}\right)^3}-1\right] = 1,37\text{m}$$

2- So sánh chiều sâu $h_{o1}^{c} = 1,37\text{m}$ đó với chiều sâu $h_{o2} = 1,2\text{m}$ trên đoạn dưới. Vì trong trường hợp này $h_{o1}^{c} > h_{o2}$ $(1,37\text{m} > 1,2\text{m})$ nên dạng nối tiếp sẽ xuất hiện với nước nhảy xa theo sơ đồ trên hình 9.43b.



Hình 9.43b

3- Độ bay xa của nước nhảy, tức là khoảng cách l từ mặt phân chia đến nước nhảy (hình 9.43b) khi độ dốc của kênh ở hạ lưu là dương, được xác định theo công thức:

$$l = \frac{h_{o2}}{i}\{\eta_2 - \eta_1 - (1-j)[\varphi(\eta_2) - \varphi(\eta_1)]\}$$

trong đó: $\eta_1 = h_1/h_o$ (trong trường hợp này $h_1/h_o = h_{o1}/h_{o2} = 0,2/1,2$);

$\eta_2 = h_2/h_o$.

Ở đây chiều sâu h_2 (chiều sâu trước nước nhảy) là chiều sâu nối tiếp với chiều sâu h_{o2}, được xác định theo công thức:

$$h_2 = \frac{h_{o2}}{2}\left[\sqrt{1+8\left(\frac{h_{pg}}{h_{o1}}\right)^3}-1\right]$$

Không cần giải thích thêm về các bước tính toán tiếp theo.

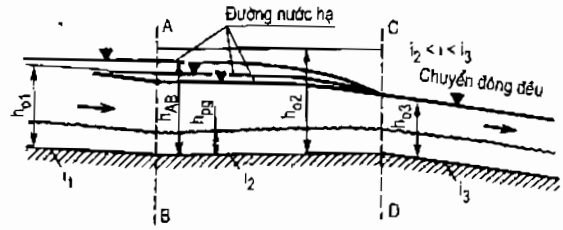
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

b) Khi độ dốc đáy thay đổi hai lần thì số lượng biến đổi đường mặt nước có thể tăng lên. Dưới đây là các dạng chính:

1. Trên suốt chiều dài kênh có độ dốc bé hơn độ dốc phân giới $i < i_{pg}$ (hình 9.44).

Trong trường hợp này sự nối tiếp của đường mặt nước giữa các đoạn bao giờ cũng không qua nước nhảy. Ở đoạn cuối (bên dưới theo chiều chảy) hình thành dòng chảy đều, tại những đoạn ở phía trên (tùy theo quan hệ của độ dốc và chiều dài các đoạn) sẽ là đường nước dâng và đường nước hạ. Ví dụ, trong điều kiện, khi $i_2 < i_1 < i_3$ (hình 9.44), tại đoạn thứ hai chỉ có đường nước hạ, trong đó tùy theo chiều dài l, chiều sâu h_{AB} tại tuyến AB có thể là $h_{AB} < h_{o1}$ hoặc $h_{AB} > h_{o1}$.



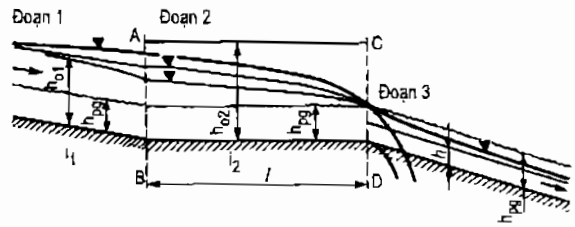
Hình 9.44

Điều kiện $h_{AB} < h_{o1}$ hoặc $h_{AB} > h_{o1}$ là điều kiện xác định tính chất của dòng chảy trên đoạn thứ nhất (ở phía trên theo chiều chảy), ở đó có thể là đường nước dâng, nước hạ hoặc có thể là chuyển động đều. Sơ đồ này phù hợp cả trong trường hợp, nếu tại đoạn thứ hai có độ dốc $i_2 \le 0$.

2. Kênh có độ dốc bé hơn độ dốc phân giới ($i < i_{pg}$) và được kết thúc bằng dốc nước hoặc bậc nước (hình 9.45)

Trong trường hợp này sơ đồ chung của dòng chảy tại các đoạn thứ nhất và thứ hai vẫn được giữ nguyên, chỉ khác là ở mặt cắt CD hình thành chiều sâu phân giới.

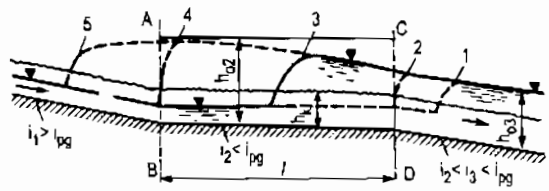
Nếu như dưới tuyến CD có dốc nước, thì trên đó sẽ có đường nước hạ.



Hình 9.45

3. Kênh có độ dốc ban đầu lớn độ dốc phân giới $i > i_{pg}$ ở trên đoạn tiếp theo có độ dốc bé hơn độ dốc phân giới ($i < i_{pg}$) (hình 4.96)

Sự nối tiếp của đường mặt nước được hình thành qua nước nhảy, mà tùy theo chiều dài l của đoạn giữa và quan hệ giữa i_2 và i_3 mà nước nhảy ở các vị trí khác nhau như trên hình 9.46.



***Hình 9.46:** Các số 1 - 5 chỉ các vị trí khác nhau của nước nhảy tùy theo chiều dài l và quan hệ i và i_{pg}*

https://tieulun.hopto.org

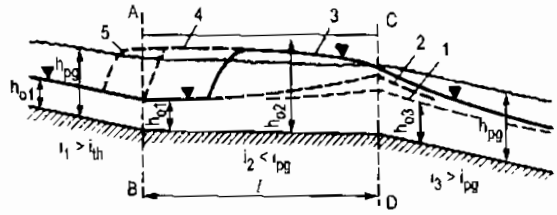
www.thuvien247.net

Nước nhảy có thể chuyển từ đoạn thứ hai sang đoạn thứ ba (thấp hơn) chỉ trong trường hợp, nếu "chiều dài phân giới" lớn hơn chiều dài đoạn thứ hai. Ở đây chiều dài phân giới l_{pg} được xác định theo các công thức (9-20), (9-21) với giả thiết là $h_1 = h_{o1}$ và $h_2 = h_{pg}$.

Ghi chú: Chiều dài phân giới là khoảng cách từ mặt cắt có chiều sâu h đến mặt cắt có chiều sâu h_{pg} và đối với các đường cong nước dâng ở vùng C (xem mục 9.1 và hình 9.2) khi có độ dốc $i < i_{pg}$ hoặc $i \le 0$ thì sẽ là độ dài lớn nhất.

4. Kênh với các độ dốc lớn hơn độ dốc phân giới ($i > i_{pg}$) và ở đoạn giữa có độ dốc $i < i_{pg}$ (hoặc $i \le 0$) (hình 9.47)

Sự nối tiếp có thể xảy ra qua nước nhảy hoặc không. Trong trường hợp thứ nhất nước nhảy chỉ có thể ở trong phạm vi của đoạn thứ nhất và đoạn thứ hai, không thể ở trên đoạn thứ ba (đoạn dưới).



Hình 9.47: *Các số 1 - 5 chỉ các vị trí khác nhau của nước nhảy*

Sự nối tiếp không qua nước nhảy (theo dạng 1 và 2, hình 9.47) xảy ra trong trường hợp, nếu đoạn giữa có độ dốc $i < i_{pg}$ và chiều dài $l < l_{pg}$, trong đó l_{pg} - chiều dài phân giới, như đã nói trên, được xác định theo công thức (9-20) khi $h_1 = h_{o1}$ và $h_2 = h_{pg}$.

9.8. SỰ CHIA LƯU LƯỢNG

a) Kênh nhánh

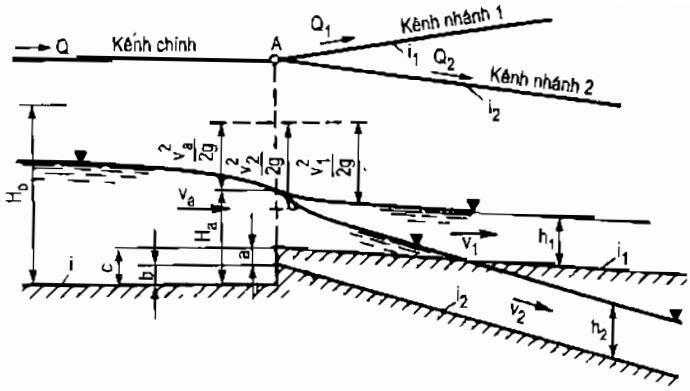
Dưới đây sẽ trình bày cách giải bài toán về phân lưu lượng Q thành $Q_1, Q_2, ..., Q_n$ cho trường hợp khi kênh chính phân thành hai kênh nhánh. Còn khi số lượng kênh nhánh nhiều hơn, về mặt phương pháp, cách giải vẫn tương tự như trên.

1. Trường hợp thứ nhất

Tất cả có 3 đoạn kênh: kênh chính (kênh dẫn đến) và hai kênh nhánh (kênh dẫn đi) có dạng lăng trụ. Các mặt cắt ngang cũng như các cao trình đáy của chúng tại điểm nút A (hình 9.48) có thể khác nhau, còn các độ dốc thì bé hơn độ dốc phân giới và cũng có thể không bằng nhau. Trong trường hợp này chuyển động không đều chỉ xảy ra trong kênh chính (phía trên điểm nút A), còn trong các kênh nhánh chuyển động sẽ là đều.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 9.48

Đại lượng lưu lượng Q_1 và Q_2 của các kênh nhánh và tương ứng với chúng là các chiều sâu h_1 và h_2 được xác định bằng cách giải hệ số phương trình sau:

$$Q = Q_1 + Q_2 = K_1\sqrt{i_1} + K_2\sqrt{i_2}$$

$$H_a = \frac{v_a^2}{2g} = h_1 + c + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + b + \frac{v_2^2}{2g} \qquad (9\text{-}65)$$

trong đó:

K_1, i_1, h_1, c và v_1, cũng như K_2, i_2, h_2, b và v_2 - đặc trưng lưu lượng ($K = \omega C\sqrt{R}$), độ dốc đáy, chiều sâu chảy đều, chiều cao ngưỡng tại điểm nút và vận tốc trung bình của dòng chảy của mặt cắt thứ nhất và thứ hai của kênh nhánh;

Q, H_a và v_a - lưu lượng, chiều sâu và vận tốc trung bình của kênh chính (kênh dẫn đến).

Cách giải tốt nhất là dùng đồ giải.

a) Nếu v_1 và v_2 nhỏ và có thể bỏ qua hiệu $\frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g}$ thì:

$$h_2 = h_1 + a \qquad (9\text{-}66)$$

hoặc khi a = 0 (hình 9.48) thì $h_2 = h_1$.

Khi đó các lưu lượng của các kênh nhánh có thể biểu thị qua cùng một chiều sâu h_1 (hoặc h_2) cụ thể là:

$$Q_1 = K_1\sqrt{i_1} = F(h_1); \qquad Q_2 = K_2\sqrt{i_2} = F(h_1 + a) \qquad (9\text{-}67)$$

Sau khi vẽ các đường cong $F_1(h_1)$ và $F_2(h_1 + a)$ và đường cong tổng cộng $\Phi(h_1) = F_1(h_1) + F_2(h_1 + a)$ (hình 9.49) (bằng cách tính các giá trị F_1 và F_2 theo công thức $F = \omega C\sqrt{Ri}$ cho nhiều h), ta sẽ tìm được các chiều sâu chưa biết h_1 và h_2 bằng đồ thị đối với lưu lượng đã cho của kênh chính:

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$Q = \Phi(h_1) \qquad (9\text{-}68)$$

Như vậy theo các chiều sâu đã tìm được là h_1 và $h_2 = h_1 + a$ sẽ tính được các lưu lượng tương ứng Q_1 và Q_2.

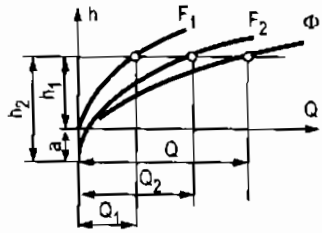
Ghi chú: Sau khi đã tìm được các chiều sâu h_1 và h_2 theo phương pháp trên, ta xác định được cao trình mực nước nằm ngang tại điểm nút A và do đó xác định được cả chiều sâu của kênh chính tại điểm đó. Điều kiện (9-69) chính là đặc tính của dòng chảy ở phía trên điểm A, tức là tương ứng với đường nước dâng hoặc nước hạ trong kênh chính:

$$\begin{aligned} H_a &= h_1 + c = h_2 + b > H_o \\ H_a &= h_1 + c = h_2 + b < H_o \end{aligned} \qquad (9\text{-}69)$$

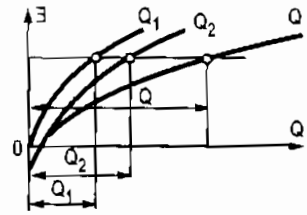
trong đó:

H_a - chiều sâu của kênh chính tại điểm nút;

H_o - chiều sâu của chuyển động đều trong kênh này: khi $H_a = H_o$ chuyển động phía trên điểm nút A sẽ là chuyển động đều.



Hình 9.49



Hình 9.50

b) Nếu hiệu $\Delta\dfrac{v^2}{2g} = \dfrac{v_1^2}{2g} - \dfrac{v_2^2}{2g}$ không thể bỏ qua (hoặc không nên), thì phải vẽ đường cong $\Phi = F_1 + F_2$ như hàm của $\left(h + \dfrac{v^2}{2g}\right)$. Về hình thức, đường cong này không khác đường cong trước, nhưng trên trục hoành bây giờ cần đặt năng lượng đơn vị của mặt cắt $\ni = h + \dfrac{v^2}{2g}$ (hình 9.50), chứ không phải chiều sâu nữa.

Đường cong $Q = \Phi\left(h + \dfrac{v^2}{2g}\right)$ được vẽ như sau. Sau khi tính các giá trị lưu lượng Q_1 và Q_2 ứng với nhiều chiều sâu theo các công thức $Q_1 = K_1\sqrt{i_1} = F_1(h_1)$ và $Q_2 = K_2\sqrt{i_2} = F_2(h_2)$ cho từng kênh nhánh riêng biệt, ta tính đồng thời cả vận tốc $v = \dfrac{Q}{\omega}$, cả cột nước vận tốc $\dfrac{v^2}{2g}$. Theo các số liệu này ta lập các bảng theo dạng

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

dưới đây, rồi dùng các bảng đó vẽ các đường cong lưu lượng của từng kênh nhánh: $Q_1 = F_1'(\mathfrak{Э})$ và $Q_2 = F_2'(\mathfrak{Э})$.

Mẫu bảng của kênh thứ nhất

$Q_1 = K_1\sqrt{i_1}$	$\mathfrak{Э} = h + \frac{v^2}{2g}$

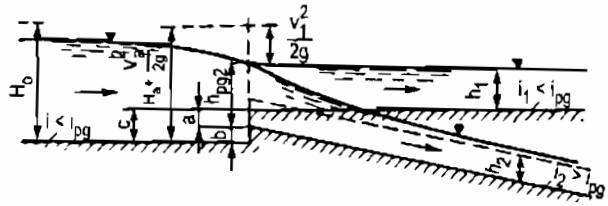
Mẫu bảng của kênh thứ hai

$Q_2 = K_2\sqrt{i_2}$	$\mathfrak{Э} = h + \frac{v^2}{2g}$

Bằng cách cộng đồ thị Q_1 và Q_2, ta vẽ ngay trên đồ thị đó đường cong $Q = \Phi\left(h + \frac{v^2}{2g}\right)$. Trên đường cong đó, đối với tổng lưu lượng, ta tìm các giá trị của năng lượng đơn vị $\mathfrak{Э}$.

Các chiều sâu h_1 và h_2 được xác định qua các lưu lượng mới tính được Q_1 và Q_2.

2. Trường hợp thứ hai: Một trong các kênh nhánh có độ dốc $i > i_{pg}$ (dốc nước) (hình 9.51). Trong trường hợp này, trên kênh nhánh với độ dốc $i > i_{pg}$ sẽ hình thành đường nước hạ. Trên kênh chính cũng sẽ có đường nước hạ.



Hình 9.51

Về mặt phương pháp, bài toán về phân lưu cũng được giải như trên, nhưng phương trình (9-65) được thay bằng:

$$H_a = \frac{v_a^2}{2g} = h_1 + c + \frac{v_1^2}{2g} = h_{pg} + b + \frac{v_{pg}^2}{2g}$$

hay:
$$h_1 + \frac{v_1^2}{2g} + a = h_{pg} + \frac{v_{pg}^2}{2g} \qquad (9\text{-}70)$$

Ghi chú: Trong trường hợp thứ nhất cũng như trường hợp thứ hai ta bỏ qua độ dốc ngang.

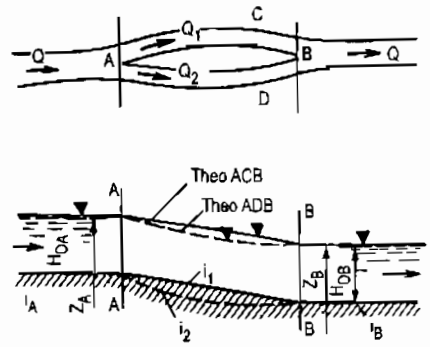
b) Rẽ đôi lòng dẫn

Nếu tại tuyến A lòng dẫn chia làm hai nhánh, còn tại tuyến B các nhánh đó lại nhập làm một, thì theo chiều chảy, ở phía dưới tuyến B dòng chảy sẽ là đều với

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

chiều sâu bình thường H_{OB}, còn ở phía trên tuyến đó, trên đoạn AB cũng như phía trên tuyến A thường thường chuyển động sẽ là không đều (hình 9.52). Hình dạng mặt thoáng (đường nước dâng hoặc nước hạ) phụ thuộc vào sức cản của các nhánh ACB và ADB giữa hai tuyến A và B.

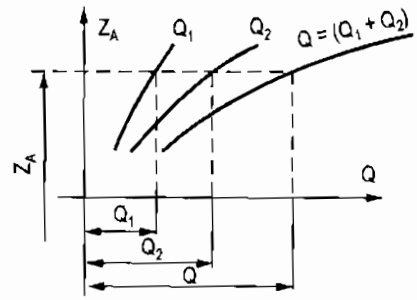


Hình 9.52

Việc xác định các lưu lượng Q_1 và Q_2 cũng như việc vẽ đường mặt nước (mặt cắt dọc) trên các đoạn có chuyển động không đều có thể thực hiện được, nếu cho biết cao trình z_B của mặt thoáng tại tuyến B và cho biết hoặc có thể tính được quan hệ $K_A = F(H_A)$, $K_1 = F(h_1)$ và $K_2 = F(h_2)$ cho lòng dẫn cơ bản ở phía trên tuyến A và cho từng nhánh riêng biệt giữa các tuyến A và B, trong đó K_A, K_1 và K_2 - các đặc trưng lưu lượng, còn H_A, h_1 và h_2 - các chiều sâu của lòng dẫn cơ bản phía trên tuyến A và của hai nhánh trên.

Giải bài toán theo phương pháp đồ giải như sau là đơn giản nhất:

a) Bằng một trong các phương pháp đã biết về cách vẽ đường nước dâng (hoặc nước hạ) đối với các lưu lượng Q_1', Q_1'', Q_1'''... (< Q) ta xác định các cao trình mặt nước tại tuyến A cho nhánh thứ nhất z'_{A1}, z''_{A1}, z'''_{A1} ... tại cùng một cao trình z_B của tuyến B. Theo các kết quả tính toán đó ta vẽ đường cong $Q_1 = F_1(z_A)$ (hình 9.52a), trong đó Q_1 là lưu lượng của nhánh thứ nhất.



Hình 9.52a

b) Đối với nhánh thứ hai, cũng lập các bước như trên, ta vẽ đường cong thứ hai $Q_2 = F_2(z_A)$ trên cùng bản vẽ đó.

c) Sau khi vẽ đường cong tổng $Q = Q_1 + Q_2 = F(z_A)$ (cộng đồ thị), ta tìm các lưu lượng Q_1, Q_2 cũng như cao trình z_A tại tuyến A ở ngay trên đồ thị (hình 9.52a) theo lưu lượng tổng cộng Q đã biết.

d) Việc vẽ đường mặt nước trong lòng dẫn chính ở phía trên tuyến A (sau khi đã tìm được cao trình z_A) được tiến hành theo quy tắc chung về tính toán chuyển động không đều.

Ghi chú:

1. Nếu cho đường cong $Q = f(z_n)$ của lòng dẫn chính tại tuyến B, thì theo phương pháp nói trên có thể tìm lưu lượng của các nhánh ứng với các lưu lượng khác nhau của lòng dẫn chính và vẽ các đường cong $Q_1 = f_1(z_n)$ và $Q_2 = f_2(z_B)$ cho từng nhánh.

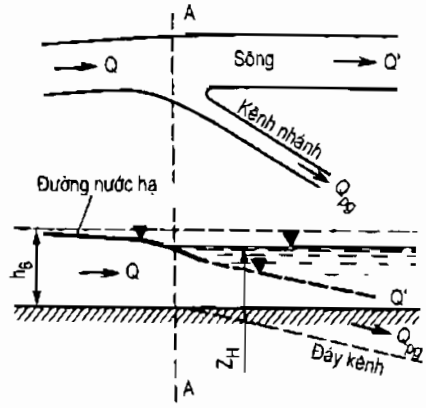
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

2. Nếu trên một trong các nhánh có xây dựng công trình dâng nước, thì bài toán về lưu lượng đi qua công trình có thể giải bằng phương pháp nói trên.

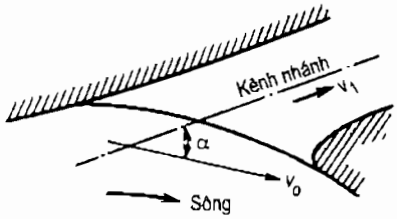
c) Lấy nước từ sông

Nếu có một kênh dẫn lấy từ sông một lưu lượng Q_K thì từ tuyến A trở xuống (hình 9.53) trong sông sẽ có chuyển động đều với lưu lượng $Q' = Q - Q_K$, trong đó cao trình z_H của mực nước tại tuyến A được xác định theo quan hệ mực nước bình thường $Q = f(H)$ của sông đang xét ứng với lưu lượng Q'. Từ tuyến A ngược chiều chảy hình thành đường nước hạ với lưu lượng Q. Ở đây phải tiến hành tính toán kênh dẫn với cao trình mực nước trong sông bằng z_H.

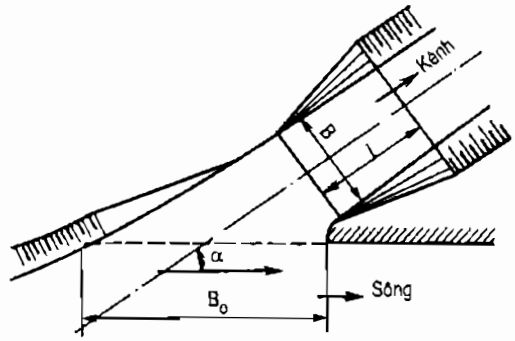


Hình 9.53

Theo TY-24-109-49 nên lấy góc lấy nước α, tức là góc giữa trục kênh dẫn và phương chuyển động của dòng chảy trong sông (hình 9.53a) bằng $\alpha = \arccos\frac{v_o}{v_1}$ với điều kiện bắt buộc là $v_1 > v_o$ và ngoài ra, chỉ trong trường hợp khi kênh dẫn tại đoạn đầu (đoạn vào kênh) làm việc như đập tràn bị ngập có độ chênh mực nước rất nhỏ.



Hình 9.53a



Hình 9.53b

Đường dẫn nước vào công trình lấy nước phải tương đối thuận. Cần phải lấy chiều rộng của đường dẫn nước B_o theo góc α và chiều rộng lỗ B của công trình lấy nước (hình 9.53b). Có thể tham khảo bảng sau:

v_o/v_1	0,05	0,10	0,20	0,40	0,70
α	87	84	78,5	66,5	45,5
B/B_o	0,58	0,57	0,57	0,5	0,29

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Trong các trường hợp, khi $v_1 \approx v_o$, góc lấy nước α nên lấy lớn hơn $15 \div 30^o$.

Vận tốc v được xác định trong tất cả các trường hợp theo công thức $v_1 = \frac{Q}{B(H-z)}$,

trong đó B, H và z - lần lượt là chiều rộng lỗ (hình 9.53b), cột nước tại chỗ vào và độ chênh, bằng hiệu các cao trình mặt thoáng trong sông và trên ngưỡng công trình lấy nước.

Khi lấy nước từ sông có chứa nhiều bùn cát thì hình dạng phần vào cần phải xác định trên cơ sở thí nghiệm mô hình của công trình đầu mối.

Chiều dài của đoạn chuyển tiếp *l* từ mặt cắt hình chữ nhật của đầu công trình đến mặt cắt hình thang của kênh nên tính theo công thức:

$$l = (2,5 \div 3,0)\frac{B_{pg} - B}{2} \text{ hoặc } l = (2,5 \div 3,0)p$$

trong đó:

B_{pg} - chiều rộng mặt nước của kênh;

B - chiều rộng của công trình lấy nước (hình 9.53b);

p - chiều sâu đáy đào thấp hơn ngưỡng.

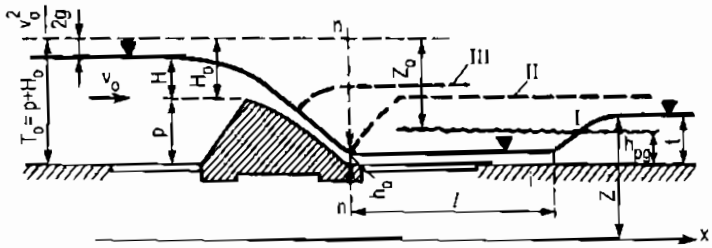
Nên chọn trị số *l* lớn nhất trong số các giá trị được xác định bằng các công thức nói trên.

9.9. NỐI TIẾP THƯỢNG - HẠ LƯU

a) Nối tiếp thượng hạ lưu khi tràn qua đập

Trong tất cả các trường hợp sự nối tiếp sẽ không qua nước nhảy nếu ở hạ lưu sau công trình lòng dẫn có độ dốc $i > i_{pg}$ và "chiều sâu" bình thường $t \le h_{pg}$. Ở tất cả các trường hợp khác, khi chiều sâu bình thường $t > h_{pg}$, nước nhảy sẽ xảy ra. Trên hình 9.54 trình bày ba dạng nối tiếp có thể có:

- Nước nhảy xa;
- Nước nhảy ở vị trí phân giới;
- Nước nhảy ngập.



Hình 9.54: *I - Nước nhảy xa; II - Nước nhảy ở vị trí phân giới; III - Nước nhảy gần*

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Xác định dạng nối tiếp, tức là giải quyết vấn đề, trong từng trường hợp cụ thể, trong số ba dạng trên dạng nào có thể xảy ra, được tiến hành như sau[1]:

Tính cột nước $H_o = H + \frac{v_o^2}{2g}$ trên đỉnh đập bằng công thức:

$$H_o = \sqrt[3]{\frac{q^2}{2gm^2}} \qquad (9\text{-}71)$$

Sau đó xác định chiều sâu "mặt cắt co hẹp", tức là chiều sâu dòng chảy h_c ở hạ lưu tại chân đập trong mặt cắt n - n (hình 9.54), trong đó h_c được xác định bằng cách giải phương trình:

$$q = \varphi h_c \sqrt{2p(p + H_o - h_c)} \qquad (9\text{-}72)$$

Tiếp đó, tính chiều sâu "phân chia"[2] bằng chiều sâu h_c^c, tức là chiều sâu nối tiếp với chiều sâu h_c ở mặt cắt co hẹp. Đối với lòng dẫn chữ nhật chiều sâu phân chia được xác định theo công thức:

$$h_{pc} = \frac{h_c}{2}\left[\sqrt{1 + 8\left(\frac{h_{pg}}{h_c}\right)^3} - 1\right] \qquad (9\text{-}73)$$

sau đó theo điều kiện: $h_{pc} \geq t$ hoặc $h_{pc} \leq t$ (9-74)

để giải quyết vấn đề về dạng nối tiếp. Cụ thể là: nếu chiều sâu phân chia lớn hơn chiều sâu hạ lưu, tức là nếu $h_{pc} > t$ thì sẽ có dạng nối tiếp thứ nhất - nước nhảy xa (hình 9.54), nếu là $h_{pc} = t$ thì sẽ có dạng thứ hai - nước nhảy ở vị trí phân giới; nếu $h_{pc} < t$ thì sẽ có dạng thứ ba - nước nhảy ngập.

b) Xác định chiều sâu h_c tại mặt cắt co hẹp

Phương trình (9-72) được quy về phương trình bậc ba

$$(P + H_1)h_c^2 - h_c^3 = \frac{q^2}{\varphi^2 2g} \qquad (9\text{-}75)$$

trong đó: φ - hệ số vận tốc (bảng 9.10).

---

[1] Ở đây ta giả thiết, lưu lượng q trên 1m dài đập tràn, hệ số lưu lượng m, chiều cao đập p, cũng như mặt cắt đập là những yếu tố đã biết.

[2] Khái niệm về "chiều sâu phân chia" do V. Đ. Jurin nêu lên với lí do là chiều sâu đó xác định khu vực các chiều sâu bình thường t ở hạ lưu, mà ở đó xuất hiện nước nhảy xa (khi $h_{pc} > t$), khác với khu vực của các chiều sâu với sự hình thành nước nhảy ngập (khi $h_{pc} < t$).

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 9.10. Giá trị hệ số vận tốc φ để xác định chiều sâu tại mặt cắt co hẹp theo N. N. Pavlôpxki

Các điều kiện chảy	Hệ số φ
Chảy vào khí quyển khi luồng chảy bay tự do	1,00 - 0,97
Chảy qua đập tràn mặt cắt thực dụng, mặt tràn cong và nhẵn:	
a) Khi chiều dài mặt tràn bé	1,00
b) Khi chiều dài mặt tràn trung bình	0,95
c) Khi chiều dài mặt tràn lớn	0,90
Chảy dưới cửa cống, được bố trí ở đập tràn mặt cắt thực dụng với mặt tràn hình cong	0,95 - 0,85
Chảy qua đập tràn đỉnh rộng	0,95 - 0,85
Chảy qua đập tràn mặt cắt thực dụng với mặt tràn không thuận	0,90 - 0,80
Chảy qua lỗ đáy	1,00 - 0,97
Bậc nước không có cửa ở phần vào	1,00
Bậc nước có cửa ở phần vào	1,00 - 0,97

Phương trình (9-75) thường được giải bằng phương pháp thử dần hoặc bằng phương pháp đồ giải bằng cách vẽ đường cong[1]:

$$y = (p + H_o)h_c^2 - h_c^3 \qquad (9\text{-}76)$$

trong đó: h_c - giá trị cần tìm, còn các đại lượng khác đều đã biết.

Thí dụ: Cho chiều cao ngưỡng của đập tràn p = 20m; cột nước trên đập tràn H_o = 4m; lưu lượng trên 1m chiều dài ngưỡng q = 16 $m^3/(s.m)$ và hệ số vận tốc φ = 0,95 (theo bảng 9.10) đối với đập tràn hình cong và mặt tràn có chiều dài trung bình). Xác định chiều sâu của mặt cắt co hẹp h_c.

Giải:

1- Tính vế phải của đẳng thức (9-75):

$$\frac{q^2}{\varphi^2 2g} = \frac{16^2}{0,95^2.2.9,81} = 14,45$$

2- Tính các giá trị y theo công thức (9-76) để vẽ đường cong $y = \varphi(h_c)$:

Khi h_c = 0,6m: $y = (p + H_o)h_c^2 - h_c^3 = (20 + 4)0,6^2 - 0,6^3 = 8,42$;

---

[1] Đường cong vẽ trong các tọa độ h_c và y. Đối với $y = \frac{q^2}{\varphi^2 2g}$ ta tìm được giá trị cần thiết h_c.

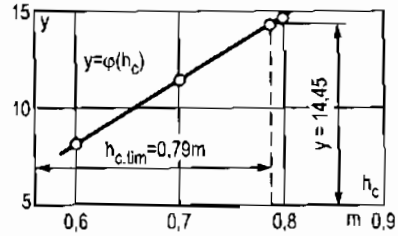
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Khi $h_c = 0,7m$: $y = (20+4)0,7^2 - 0,7^3 = 11,42;$

Khi $h_c = 0,8m$: $y = (20+4)0,8^2 - 0,8^3 = 14,85.$

3- Theo các giá trị y tìm được ta vẽ đường cong $y = \varphi(h_c)$ (hình 9.54a). Trên đường cong đó với $y = \frac{q^2}{\varphi^2 2g} = 14,45$, ta tìm được chiều sâu cần thiết tại mặt cắt co hẹp $h_c = 0,79m$.



Hình 9.54a

• *Mặt cắt hình chữ nhật*

Phương pháp giải đơn giản (phương pháp tính gần đúng liên tiếp).

Lần gần đúng thứ nhất: Bỏ qua đại lượng h_c trong căn thức của vế phải phương trình (9-72), tìm giá trị h_c ở gần đúng thứ nhất, kí hiệu nó qua h'_c :

$$h'_c = \frac{q}{\varphi\sqrt{2g(p+H_o)}} \qquad (9\text{-}77)$$

Lần gần đúng thứ hai: Sau khi cho h_c dưới căn của phương trình (9-72) bằng giá trị h'_c đã tìm, theo phương trình (9-77) sẽ tìm giá trị gần đúng thứ hai h''_c :

$$h''_c = \frac{q}{\varphi\sqrt{2g(p+H_o-h'_c)}} \qquad (9\text{-}77a)$$

Lần gần đúng thứ ba: Sau khi cho h_c dưới căn của phương trình (9-72) bằng h''_c, ta tìm được:

$$h'''_c = \frac{q}{\varphi\sqrt{2g(p+H_o-h''_c)}} \qquad (9\text{-}77b)$$

Trong trường hợp $h''_c \approx h'''_c$, nên sau lần gần đúng thứ ba ta không cần tính tiếp nữa vì độ chính xác trong những lần tính tiếp theo cũng không tăng.

Thí dụ: Cho lưu lượng đơn vị $q = 2,0\ m^3/(s.m)$; $H_o = 1,12m$, chiều cao đập $p = 10,6m$ và hệ số vận tốc $\varphi = 0,95$. Xác định h_c.

Giải:

1- Tính ở lần gần đúng thứ nhất:

$$h'_c = \frac{q}{\varphi\sqrt{2g(p+H_o)}} = \frac{2,0}{0,95\sqrt{2.9,81.11,72}} = 0,139m$$

2- Lần gần đúng thứ hai:

$$h''_c = \frac{2}{0,95\sqrt{2.9,81.(10,6+1,12-0,139)}} = 0,14m$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

3- Và cuối cùng, lần gần đúng thứ ba:

$$h_c''' = 0,14m$$

Do đó trong trường hợp này, lần gần đúng thứ ba là thừa, không cần thiết.

• *Mặt cắt hình thang*

Xác định h_c cho lòng dẫn hình thang nên tiến hành theo trình tự sau:

- Lần gần đúng thứ nhất:

a) Xác định vận tốc tại mặt cắt co hẹp:

$$v' = \varphi\sqrt{2g(p + H_o)} \qquad (9\text{-}78)$$

b) Tìm chiều sâu h_c' ứng với v' sau khi tính sơ bộ:

$$\omega = \frac{Q}{v} \text{ và } \omega = (b + mh)h$$

tức là theo công thức:

$$h_c' = -\frac{b}{2m} + \sqrt{\left(\frac{b}{2m}\right)^3 + \frac{Q}{mv}} \qquad (9\text{-}79)$$

- Lần gần đúng thứ hai:

a) Vận tốc $v'' = \varphi\sqrt{2g(p + H_o - h_c')}$

b) Chiều sâu $h_c'' = -\frac{b}{2m} + \sqrt{\left(\frac{b}{2m}\right)^2 + \frac{Q}{mv''}}$

Ở đây lần gần đúng thứ ba cũng thường là không cần thiết.

Thí dụ: Cho Q = 10 m^3/s; lòng dẫn hình thang có hệ số mái dốc m = 1,0; chiều rộng đáy kênh b = 4m; chiều cao đập p = 10,6m; cột nước H_o = 1,12m và hệ số vận tốc φ = 0,95. Xác định chiều sâu của mặt cắt co hẹp h_c.

Giải:

1- Ở lần gần đúng thứ nhất:

$$v' = \varphi\sqrt{2g(p + H_o)} = 0,95\sqrt{2.9,81.11,72} = 14,4 \text{ m/s}$$

$$h_c' = -\frac{4}{2.1,0} + \sqrt{\left(\frac{4}{2.1,0}\right)^2 + \frac{10}{1.14,4}} = -2 + 2,17 = 0,17m$$

2- Ở lần gần đúng thứ hai:

$$v'' = 0,95.\sqrt{2.9,81(11,72 - 0,17)} = 14,2 \text{ m/s}$$

$$h_c'' = -2 + \sqrt{2^2 + \frac{10}{1.14,2}} = -2 + 2,16 = 0,16m$$

Ở đây không cần tính lần thứ ba.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Khi xác định chiều sâu h_c tại mặt cắt co hẹp, hệ số vận tốc φ lấy theo bảng của Viện sĩ N. N. Pavlôpxki (xem bảng 9.10).

Để tính gần đúng và nhanh giá trị h_c, trong bảng 9.11 đã tính sẵn các giá trị của h_c ứng với lưu lượng đơn vị q = 1,0 m^3/(s.m).

Bảng 9.11. Các giá trị của chiều sâu h tại mặt cắt co hẹp ứng với lưu lượng riêng q = 1,0 m^3/(s.m) tùy thuộc vào đại lượng độ chênh $z_o = p + H_o - h_c$ và khi hệ số vận tốc φ được tính theo công thức $h_c = \frac{q}{\varphi\sqrt{2gz_o}}$, m

z_o (m)	φ				
	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80
1	0,226	0,237	0,251	0,266	0,282
2	0,160	0,168	0,177	0,188	0,200
3	0,130	0,137	0,145	0,153	0,163
4	0,113	0,120	0,126	0,133	0,141
5	0,101	0,106	0,112	0,119	0,125
6	0,092	0,097	0,102	0,109	0,115
7	0,085	0,090	0,095	0,100	0,107
8	0,080	0,084	0,089	0,094	0,100
9	0,075	0,079	0,084	0,089	0,094
10	0,0713	0,0751	0,079	0,0840	0,0891
15	0,0583	0,614	0,0648	0,0685	0,0728
20	0,0505	0,0532	0,0540	0,0595	0,0630
25	0,0452	0,0467	0,0501	0,0532	0,0565
30	0,0412	0,0435	0,0458	0,0485	0,0515
40	0,0357	0,0376	0,0396	0,0420	0,0446
50	0,0319	0,0336	0,0354	0,0375	0,0399
60	0,0292	0,0307	0,0324	0,0343	0,0364
70	0,0270	0,0284	0,0300	0,0328	0,0337
80	0,0252	0,0266	0,0280	0,0297	0,0316
90	0,0238	0,0251	0,0264	0,0280	0,0293
100	0,0226	0,0237	0,0251	0,0266	0,0282

Ghi chú: Khi giá trị lưu lượng q ≠ 1,0 m^3/s.m, thì các trị số trong bảng phải nhân tương ứng với giá trị q. Ví dụ, lưu lượng q = 5,0 m^3/s.m; độ chênh $z_o = p + H_o - h_c$ = 20m và φ = 0,90. Khi đó $h_c = h_{cbảng}q = 0,054.5 = 0,27m$.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

• *Xác định h_c theo đồ thị của giáo sư M. Đ. Tsectôuxôp*

Đối với lòng dẫn chữ nhật, giáo sư M. Đ. Tsectôuxôp đề nghị một đồ thị[1] rất tiện (hình 9.55) của quan hệ

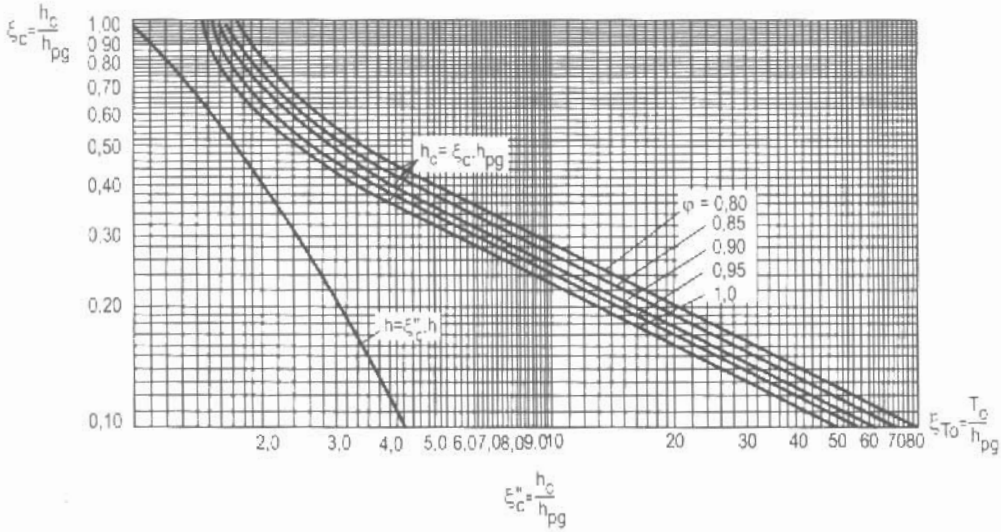
$$\xi_c = f(\xi_{To}) \qquad (9\text{-}80)$$

trong đó:

$\xi_c = h_c / h_{pg}$ - tỉ số giữa chiều sâu co hẹp và chiều sâu phân giới;

ξ_{To} - tỉ số giữa chiều cao đường cột nước trước công trình và chiều sâu phân giới (xem hình 9.55)[2]

$$\xi_{To} = \frac{T_o}{h_{pg}} = \frac{(p + H_o)}{h_{pg}}$$



Hình 9.55: *Đồ thị để xác định chiều sâu tại mặt cắt co hẹp và chiều sâu nối tiếp với nó*

Quan hệ (9-80) này được trình bày trên đồ thị (hình 9.55) ứng với các giá trị khác nhau của hệ số vận tốc. Cách sử dụng đồ thị như sau:

---

[1] Lấy từ sách của M. Đ. Tsectôuxôp "Giáo trình thủy lực chuyên môn", NXB NLQG, 1949.

[2] Trong nhiều trường hợp, trên thực tế có thể xem $T_o = T$ tức là không xét đến cột nước vận tốc $v_o^2 / 2g$ của vận tốc đến gần.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

- Theo lưu lượng riêng đã cho q, trước hết tính chiều sâu phân giới:

$$h_{pg} = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

- Sau đó, theo chiều cao đập đã cho p và cột nước trên đỉnh đập H_o ($H_o = H + v_o^2/2g$) xác định tỉ số:

$$\xi_{T_o} = \left(\frac{p + H_o}{h_{pg}}\right) = \frac{T_o}{h_{pg}}$$

Lúc đó theo đồ thị hình 9.55, tìm ξ_c (theo trục tung) ứng với ξ_{T_o} tính toán và giá trị hệ số φ đã cho. Biết ξ_c, ta tìm chiều sâu cần thiết của mặt cắt co hẹp $h_c = \xi_c h_{pg}$.

Thí dụ: Cho lưu lượng đơn vị $q = 2\ m^3/(s.m)$; $H_o = 1,12m$; $p = 10,6m$ và hệ số vận tốc $\varphi = 0,95$. Xác định h_c (hình 9.55a).

Giải:

1- Ta tìm: $$h_{pg} = \sqrt[3]{\frac{\alpha q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{1,10.2^2}{9,81}} = 0,765m$$

2- Sau đó tính: $$\xi_{To} = \frac{p + H_o}{h_{pg}} = \frac{10,6 + 1,12}{0,765} = 15,3$$

3- Theo đồ thị hình 9.55 với $\xi_{T_o} = 15,3$ và $\varphi = 0,95$ ta tìm $\xi_c = 0,191$ và do đó chiều sâu cần tìm h_c tại mặt cắt co hẹp:

$$h_c = \xi_c h_{pg} = 0,191.0,765 = 0,146m$$

c) Xác định độ bay xa của nước nhảy

Việc xác định độ bay xa của nước nhảy, tức là khoảng cách *l* (hình 9.54) cũng được tiến hành như trường hợp nước nhảy xuất hiện khi độ dốc thay đổi, ví dụ khi $i > 0$, tức là dùng công thức:

$$\frac{il}{h_o} = \eta_2 - \eta_1 - (1 - j)\,[\varphi(\eta_2) - \varphi(\eta_1)]$$

trong đó:

h_o - chiều sâu của chuyển động đều khi độ dốc là i;

$\eta_1 = h_1/h_o$, trong đó chiều sâu h_1 lấy bằng chiều sâu tại mặt cắt co hẹp, tức là $h_1 = h_c$;

$\eta_2 = h_2/h_o$, trong đó chiều sâu h_2 trước nước nhảy được tính như chiều sâu nối tiếp với chiều sâu bình thường t ở hạ lưu, tức là theo công thức:

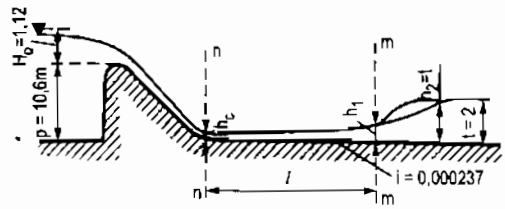
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$h_2 = \frac{t}{2}\left[\sqrt{1+8\left(\frac{h_{pg}}{t}\right)^3} - 1\right]$$

Ghi chú: Chiều sâu bình thường t, có thể không bằng h_o, nó được xác định theo các điều kiện Q = f(H) ở hạ lưu. Đối với sông Q = f(H) thường được vẽ trên cơ sở quan trắc thủy văn.

Thí dụ: Xác định độ bay xa của nước nhảy xa sau khi tràn. Cho lòng dẫn có chiều rộng lớn b >> h; lưu lượng riêng q = 2 m^3/(s.m); chiều cao đập p = 10,6m; cột nước H_o = 1,12m; hệ số vận tốc φ = 0,95; độ dốc lòng dẫn ở hạ lưu i = 0,000237; hệ số nhám n = 0,024 chiều sâu bình thường t = 2m (hình 9.55a).



Hình 9.55a

Giải:

1- Xác định chiều sâu co hẹp (xem thí dụ trên trang 327)

$$h_c = \frac{q}{\varphi\sqrt{2g(p+H_o-h_c)}} = \frac{2}{0,95\sqrt{2.9,81(10,6+1,12-h)}} = 0,14m$$

2- Chiều sâu phân giới

$$h_{pg} = \sqrt[3]{\frac{\alpha q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{1,10.2^2}{9,81}} = 0,765m$$

3- Chiều sâu phân chia:

$$h_{pg} = \frac{h_c}{2}\left[\sqrt{1+8\left(\frac{h_{pg}}{h_c}\right)^3} - 1\right] = \frac{0,14}{2}\left[\sqrt{1+8\left(\frac{0,765}{0,14}\right)^3} - 1\right] = 2,46m$$

4- Vì $h_{pc} > h_{bt}$ = t(2,46 > 2), nên sẽ xảy ra nối tiếp qua nước nhảy.

5- Để xác định độ bay xa *l* của nước nhảy ta dùng công thức:

$$\frac{il}{h_o} = \eta_2 - \eta_1 - (1-j)\left[\varphi(\eta_2) - \varphi(\eta_1)\right]$$

Tính sơ bộ chiều sâu chuyển động đều h_o[(1)], chiều sâu tại mặt cắt m-m là chiều sâu nối tiếp với t_{bt} và số mũ thủy lực x của lòng dẫn. Ta tìm h_o theo công thức

---

(1) Chiều sâu bình thường ở hạ lưu có thể không bằng chiều sâu chuyển động đều h_o (trong trường hợp này chiều sâu bình thường t theo đầu bài t = 2m và do đó t < h_o = 2,02m).

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$Q = \omega C\sqrt{Ri}$ với giả thiết là đối với lòng dẫn chữ nhật chiều rộng lớn thì $R = h_o$ và lấy $y = 1/6$:

$$h_o = \left(\frac{q^n}{\sqrt{i}}\right)^{\frac{1}{1,6}} = \left(\frac{2.0,025}{\sqrt{0,000237}}\right)^{\frac{1}{1,6}} = 2,02m$$

$$h_1 = t_{bt}^c = \frac{2}{2}\left[\sqrt{1+8\left(\frac{0,765}{2}\right)^3} - 1\right] = 0,22m$$

chỉ số mũ thủy lực của lòng dẫn lấy gần đúng bằng $x = 3,0$ (khi $B >> h$ đối với lòng dẫn chữ nhật).

6- Sau đó lần lượt ta tìm $\eta_2 = \frac{h_1}{h_o} = \frac{0,22}{2,02} = 0,109$

và theo bảng 9.3 $\varphi(\eta_2) = \varphi(0,109) = 0,109;$

$$\eta_1 = \frac{h_c}{h_o} = \frac{0,14}{2,02} = 0,069$$

và theo bảng 9.3 $\varphi(\eta_1) = \varphi(0,069) = 0,069;$

$$j_c = \frac{\alpha C^2 i}{g}\cdot\frac{B}{\chi} = \frac{1,10.26,2^2.0,000237}{9,81} = 0,0183$$

7- Tính độ bay xa của nước nhảy:

$$l = \frac{h_o}{i}\{\eta_2 - \eta_1 - (1-j)[\varphi(\eta_2) - \varphi(\eta_1)]\}$$

$$l = \frac{2,02}{0,000237}\{0,109 - 0,069 - (1-0,0183)(0,100 - 0,069)\} \approx 62m$$

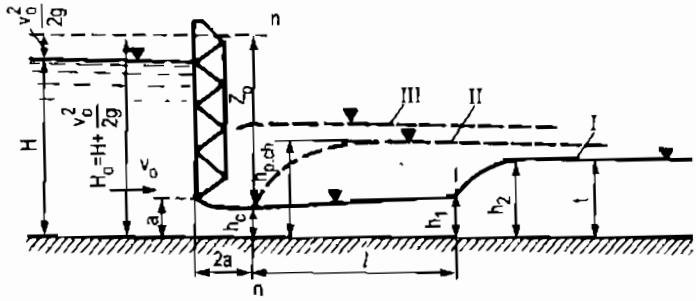
d) Sự nối tiếp khi chảy dưới cửa van

Trên hình 9.56 trình bày ba dạng nối tiếp có thể xảy ra giống như trên kia đã trình bày ba dạng nối tiếp có thể xảy ra khi chảy qua đập. Trong trường hợp cụ thể, trên cơ sở của tiêu chuẩn (9-74) giống như chảy qua đập tràn mà phán đoán dạng nối tiếp nào trong số các dạng nói trên sẽ xảy ra, tức là chiều sâu phân chia sẽ lớn hơn hoặc nhỏ hơn chiều sâu bình thường. Trong lòng dẫn chữ nhật:

$$h_{pc} = \frac{h_o}{2}\left[\sqrt{1+8\left(\frac{h_{pg}}{h_o}\right)^3} - 1\right] \le t;\quad h_{pc} = \frac{h_o}{2}\left[\sqrt{1+8\left(\frac{h_{pg}}{h_o}\right)^3} - 1\right] \ge t$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 9.56:
I - Nước nhảy xa;
II -Nước nhảy tại vị trí phân giới;
III - Nước nhảy gần.

Trong trường hợp này, việc xác định chiều sâu h_c tại mặt cắt co hẹp có thể tiến hành:

a) Theo công thức: $h_c = \varepsilon a$ (9-81)

trong đó: ε - hệ số co hẹp (xem chương 4);

a - chiều cao độ mở của lỗ (hình 9.56).

b) Theo công thức: $q = \varphi h_c\sqrt{2gz_o} = \varphi h_c\sqrt{2g(H_o - h_c)}$ (9-82)

trong đó: φ - hệ số vận tốc khi chảy qua lỗ.

Các giá trị bằng số của các hệ số ε và φ đã trình bày trong chương 4 "Chảy qua lỗ". Các hệ số đó hoàn toàn phụ thuộc vào loại lỗ và các điều kiện chảy vào lỗ (xem cả bảng 9.10). Thường khi chảy qua các lỗ đáy có cửa van phẳng, trong thực tế ta lấy:

Hệ số co hẹp $\varepsilon = 0,63 \div 0,65$;

Hệ số vận tốc $\varphi = 0,95 \div 0,97$.

Theo số liệu của N. E. Jucôpxki $\varepsilon = f(a/H)$, ta có các giá trị ghi trong bảng 9.12.

Bảng 9.12. Hệ số co hẹp khi chảy dưới cửa van

Khi a/H	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60
ε	0,615	0,620	0,625	0,630	0,645	0,66

Độ bay xa của nước nhảy cũng được xác định như đã trình bày ở trên.

Ghi chú: Nếu chiều sâu phân chia bé hơn chiều sâu bình thường, tức là $h_{pc} < t$, lỗ sẽ "bị ngập" và lưu lượng được xác định theo công thức lỗ ngập, cụ thể là:

$$Q = m\omega\sqrt{2g(H_o - t)}$$

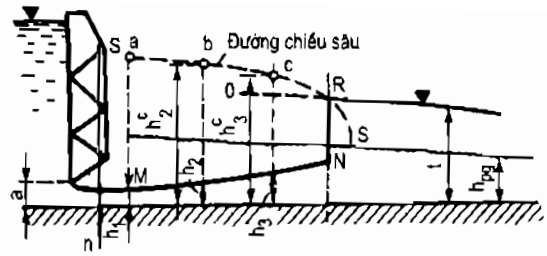
e) Xác định độ bay xa của nước nhảy trong lòng dẫn không lăng trụ

Tốt nhất là tiến hành giải theo phương pháp đồ thị. Trên mặt cắt dọc của dòng chảy (hình 9.57) trước hết ta vẽ hai đường độc lập với nhau: đường MN - đường nước dâng và đường OP - đường "bình thường" của mặt thoáng (hình 9.57). Sau đó vẽ đường SS - đường chiều sâu nối tiếp với các chiều sâu ứng với đường nước dâng MN. Để đạt mục đích đó, đối với các mặt cắt tự chọn với các chiều sâu h_1, h_2,

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

h_3, ... ta tính các chiều sâu nối tiếp và do đó ta tìm các điểm của đường SS. Các giao điểm của đường OP với đường SS (điểm R) sẽ xác định vị trí nước nhảy, vì trong mặt cắt này các chiều sâu được xác định bằng đường nước dâng (đường MN) và đường bình thường của mặt thoáng ở hạ lưu, sẽ là các chiều sâu nối tiếp.



Hình 9.57

Ghi chú: Phương pháp này cũng dùng được cho các trường hợp chảy qua đập tràn.

g) Tính toán giếng và tường tiêu năng

Trong hầu hết các trường hợp, khi nối tiếp giữa thượng và hạ lưu đều hình thành nước nhảy xa, nên phải làm giếng tiêu năng, hoặc tường tiêu năng để tăng chiều sâu sau công trình đến giới hạn sinh ra nước nhảy ngập và làm mất hiện tượng nước nhảy xa. Tính toán giếng tiêu năng thực chất là phải xác định chiều sâu và chiều dài của giếng.

• *Xác định chiều sâu của giếng tiêu năng*

Chiều sâu của giếng tiêu năng được xác định từ các điều kiện là ở hạ lưu sau công trình phải có chiều sâu t', bằng hoặc lớn hơn chiều sâu phân chia h_{pc} (nối tiếp với chiều sâu của mặt cắt co hẹp h_c tại đáy giếng) (hình 9.58), tức là theo công thức:

$$t' = d + t + \Delta z \geq h_c'' = h_{pc} \qquad (9\text{-}83)$$

Đối với giếng có mặt cắt ngang hình chữ nhật:

$$h_{pc} = \frac{h_c}{2}\left[\sqrt{1 + 8\left(\frac{h_{pg}}{h_c}\right)^3} - 1\right] \qquad (9\text{-}84)$$

trong công thức (9-83) ta dùng các kí hiệu sau: d - chiều sâu của giếng tiêu năng; t - chiều sâu hạ lưu; Δz - độ chênh hình thành do dòng chảy chảy từ giếng tiêu năng vào lòng dẫn ở hạ lưu và tương ứng bằng:

$$\Delta z = \frac{v_{bt}^2}{\varphi^2 2g} - \frac{v_o^2}{2g} \qquad (9\text{-}85)$$

trong đó:

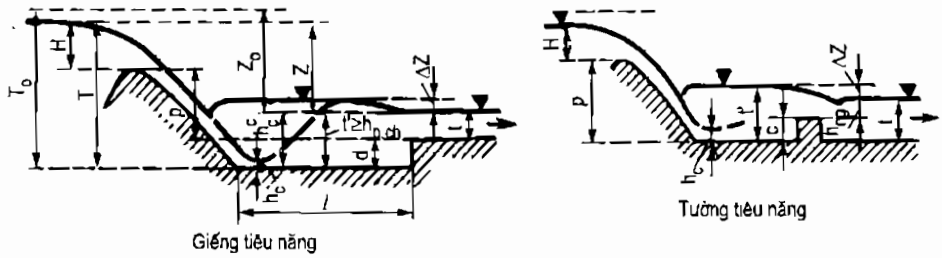
φ - hệ số vận tốc là hệ số mà cũng như trong trường hợp đập tràn đỉnh rộng bị ngập sẽ phụ thuộc vào hình dạng của mép vào: $\varphi = 0{,}80 \div 0{,}95$ (xem đập tràn đỉnh rộng);

v_{bt} - vận tốc trung bình ở hạ lưu, ứng với chiều sâu bình thường;

v_o - vận tốc trung bình trong giếng tiêu năng, $v_o = q/t'$.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 9.58

Theo quan điểm tính toán "an toàn", trong thực tế người ta bỏ qua đại lượng Δz, tức là tăng chiều sâu cần thiết tối thiểu t [chiều sâu này được tính theo (9-84)] lên 5 - 10% và vì vậy chiều sâu của giếng được tìm theo điều kiện:

$$d = (1,05 \div 1,10)\frac{h_o}{2}\left[\sqrt{1+8\left(\frac{h_{pg}}{h_o}\right)^3} - 1\right] - t \qquad (9\text{-}86)$$

Phương trình (9-86) thường tiến hành giải theo phương pháp gần đúng liên tiếp. Sau khi cho d_1, d_2, ... các giá trị tùy ý và đối với mỗi giá trị đó ta tính các chiều sâu của mặt cắt co hẹp h_{c1}, h_{c2}, ... tương ứng và các giá trị d'_1, d'_2... theo công thức (9-86). Ta tính cho đến khi có sự trùng lặp $d_n = d'_n$. Để tiện tính toán ta nên lập bảng.

• *Xác định chiều dài của giếng tiêu năng*

Chiều dài l_g của giếng tiêu năng sau đập tràn, khi luồng chảy không tách khỏi mặt tràn, sẽ được xác định theo công thức M. Đ. Tsectôuxôp và theo đề nghị của N. N. Pavlôpxki như sau:

$$lg \approx 0,8l_n \qquad (9\text{-}87)$$

trong đó: l_n - chiều dài nước nhảy được xác định theo công thức (9-52) ÷ (9-59).

Chiều dài giếng tiêu năng khi mặt dưới xây thẳng đứng, tức là trong các điều kiện tách dòng khỏi mặt rơi tự do của nó sẽ tăng lên một đoạn bằng độ bay xa của luồng chảy và được xác định theo công thức:

$$l_g = l_b + 0,8l_n \qquad (9\text{-}87a)$$

Độ bay xa của luồng chảy được xác định theo các tọa độ rơi tự do:

$$l_h = x = u\sqrt{\frac{2y}{g}} \qquad (9\text{-}88)$$

Ở đây thường lấy vận tốc u bằng vận tốc trung bình tại mặt cắt ban đầu (tại ngưỡng của đập tràn), còn y lấy bằng chiều cao rơi của luồng chảy giữa. Tương ứng, ta có:

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Đối với điều kiện đập tràn đỉnh rộng:

$$u = v_{pg} = \sqrt{gh_{pg}}; \quad y = p + \frac{h_{pg}}{2} \tag{9-89}$$

Đối với điều kiện đập tràn thành mỏng:

$$u = 0,7\sqrt{2gH}; \quad y = p + 0,33H \tag{9-90}$$

• *Xác định chiều cao tường tiêu năng* (hình 9.58)

Xác định chiều cao tường tiêu năng, cũng dựa trên cơ sở các điều kiện là chiều sâu nối tiếp sau hạ lưu t' bằng hoặc lớn hơn chiều sâu phân chia h_{pc} (nối tiếp với chiều sâu tại mặt cắt co hẹp tại đáy lòng dẫn ở hạ lưu), tức là theo công thức (9-84).

Chiều sâu cần thiết t' đối với lòng dẫn chữ nhật được xác định theo công thức:

$$t' = h_{pc} = \frac{h_c}{2}\left[\sqrt{1 + 8\left(\frac{h_{pg}}{h_c}\right)^2} - 1\right]$$

hoặc xét đến "độ dự trữ" $t' = (1,05 \div 1,10)h_{pc}$.

Chiều cao c của tường tiêu năng được xác định như là chiều cao cần thiết của đập tràn với độ chênh z' cho trước bằng $z' = t' - t$ (hình 9.58), tức là theo công thức:

$$c = t' - \sqrt[3]{\frac{q^2}{2gm^2\sigma_n^2}} \tag{9-91}$$

Khi đập tràn không ngập: $\sigma_n' = 1,0$ và $c = t' - \sqrt[3]{\frac{q^2}{2gm^2}}$

trong đó: hệ số m lấy tương ứng với mặt cắt tường tiêu năng (như là đối với mọi trường hợp khác của đập tràn).

Vì hệ số ngập σ_n phụ thuộc vào chiều cao c của tường, nên giải (9-91) phải tiến hành bằng phương pháp đồ thị. Từ (9-91) ta có:

$$q = m\sigma_n(t' - c)\sqrt{2g(t' - c)} \tag{9-92}$$

Hãy cho một loạt giá trị c_1, c_2, c_3, ... rồi xác định cho chúng, theo công thức (9-92), các giá trị q, ta vẽ được đường cong q = f(c), mà với lưu lượng tính toán q ta tìm được chiều cao cần thiết cho tường tràn.

Ghi chú: Xác định vị trí đặt tường tiêu năng được tiến hành theo phương pháp xác định chiều dài giếng tiêu năng đã nói trên.

h) Xác định chiều rộng mặt cắt vào các bậc nước

Khi xây dựng các bậc nước và dốc nước, đôi lúc cần thiết phải giữ cho chuyển động đều trong phần vào của kênh. Trong trường hợp này, chiều rộng mặt cắt vào

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

phải có giá trị B_o. Nếu chiều rộng được lấy bằng $B > B_o$ thì trong kênh xuất hiện đường nước hạ và ngược lại, nếu $B < B_o$ thì đường nước dâng.

Xác định B_o. Theo phương trình Becnuli đối với mặt cắt trong kênh và mặt cắt trên ngưỡng của bậc nước ta viết được:

$$h_o + \frac{\alpha v_o^2}{2g} = h_{pg} + \frac{\alpha v_{pg}^2}{2g} + \zeta \frac{v_{pg}^2}{2g}$$

Kí hiệu $h_o + \frac{\alpha v_o^2}{2g} = H_o$ và $\frac{\alpha v_{pg}^2}{g} = h_{pg}$, ta sẽ có:

$$H_o = h_{pg}\left(1 + \frac{1}{2} + \frac{\zeta}{2\alpha}\right) = m h_{pg} = m \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gB^2}}$$

do đó ta tìm được chiều rộng cần thiết của mặt cắt vào của bậc nước theo:

$$B_o = \sqrt{\frac{\alpha Q^2}{g}\left(\frac{m}{H_o}\right)^3} = \sqrt{\frac{\alpha m^3}{g}} \frac{Q}{\sqrt{H_o^3}}$$

trong đó: $m = 1{,}5 + \frac{\zeta}{2\alpha}$.

Giả thiết $\zeta = 0{,}05$ và $\alpha = 1{,}10$, ta sẽ có $m = 1{,}523$ và lúc đó $\sqrt{\frac{\alpha m^3}{g}} = 0{,}63$ và

$B_o = 0{,}63 \frac{Q}{\sqrt{H_o^3}}$.

Thí dụ: Cho $Q = 10\ m^3/s$ và $H_o = 1m$; xác định chiều rộng cần thiết B_o.

Ta tính: $$B_o = \sqrt{\frac{\alpha m^3}{g}} \cdot \frac{Q}{\sqrt{H_o^3}} = 0{,}63 \frac{10}{\sqrt{1}} = 6{,}3m$$

Ghi chú: Trong phạm vi thay đổi của các hệ số ζ từ 0,05 đến 0,15 và α từ 1,0 đến 1,10, hệ số $\sqrt{\frac{am^3}{g}}$ trung bình bằng 0,63 (0,6 ÷ 0,66).

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Chương 10

THỦY LỰC CÔNG TRÌNH

A - CÁC TRƯỜNG HỢP RIÊNG CỦA NƯỚC NHẢY

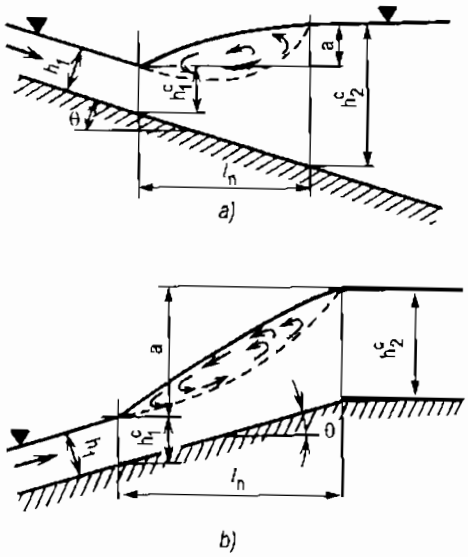
10.1. NƯỚC NHẢY TRONG LÒNG DẪN NGHIÊNG MẶT CẮT CHỮ NHẬT

a) Lòng dẫn có độ dốc đáy thuận

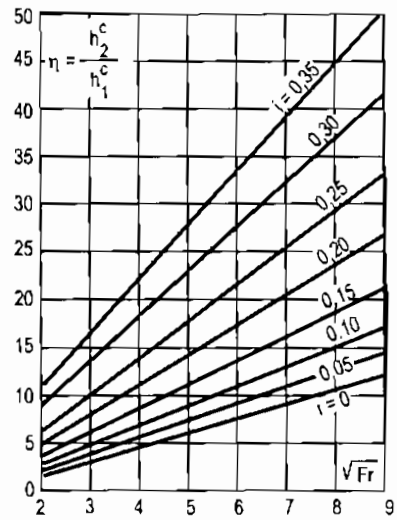
Việc xác định chiều sâu nối tiếp thứ hai h_2^c (theo chiều đứng) và chiều dài nước nhảy l_n (theo chiều ngang) được tiến hành theo chiều sâu nối tiếp thứ nhất h_1^c, lưu lượng riêng q và độ dốc lòng dẫn i. Chiều sâu nối tiếp thứ hai (hình 10.1a)

$$h_2^c = a + h_1^c + l_n.\text{tg}\theta \qquad (10\text{-}1)$$

theo đề nghị của G. K. Intsep[1], được xác định bằng đồ thị $\eta = f(i, \sqrt{Fr})$ (hình 10.2).



Hình 10.1



Hình 10.2

[1] Intsep G. K. Nước nhảy trong lòng dẫn có đáy thuận. Thông báo của Trường đại học Xây dựng - Xôphia. "Kỹ thuật", quyển III, 1961.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

trong đó: $\sqrt{Fr} = q / h_1^c \sqrt{g h_1^c}$ và $\eta = h_c^c / h_1^c$, còn chiều dài nước nhảy theo công thức:

$$l_n = 10,3(\sqrt{Fr} - 1)^{0,81}(1 + 3,75.i)h_1 = l'_n(1 + 3,75i) \qquad (10\text{-}2)$$

Ở đây: l'_n - chiều dài nước nhảy khi i = 0:

$$l'_n = 10,3(\sqrt{Fr} - 1)^{0,81} h_1$$

Chiều cao nước nhảy: $a = h_2^c - h_1^c - l_n tg\theta \qquad (10\text{-}3)$

Thí dụ: Cho q = 3,45 m^3/s trên 1m dài, độ dốc i = 0,2 (góc nghiêng của đáy $\theta = 11^{\circ}32'$); chiều sâu nối tiếp thứ nhất [1] $h_1^c = 0,6m$. Yêu cầu xác định chiều sâu nối tiếp thứ hai h_2^c và chiều dài nước nhảy l_n.

Giải:

1- Xác định: $$\sqrt{Fr} = \frac{q}{h_1^c \sqrt{g h_1^c}} = \frac{3,45}{0,6\sqrt{9,81.0,6}} = 2,37$$

2- Theo đồ thị (hình 10.2) khi i = 0,2 và $\sqrt{Fr} = 2,37$ ta tìm $\eta = h_2^c / h_1^c = 7$ và lúc đó $h_2^c = 7.0,6 = 4,2m$.

3- Ta tìm chiều dài nước nhảy l'_n khi i = 0 theo công thức (9-57):

$$l'_n = 13,3.0,6 \approx 8m$$

4- Ta xác định chiều dài nước nhảy với độ dốc đã cho:

$$l_n = l'_n(1 + 3,75i) = 8(1 + 3,75.0,2) = 14m$$

b) Lòng dẫn có độ dốc đáy ngược

Theo I. A. Xnheghirep[2], chiều cao nước nhảy trong lòng dẫn có độ dốc ngược (hình 10.1b) (khi $i = \sin\theta \le 0,20$ và $l_n/h_{pg} < 30$) được xác định theo công thức:

$$a = a_0(1 - 2\sin\theta) \qquad (10\text{-}4)$$

trong đó: a_0 - chiều cao của nước nhảy khi i = 0; còn chiều dài nước nhảy tính theo công thức:

$$l_n = l'_n(1 - 2\sin\theta) \qquad (10\text{-}5)$$

Khi đã biết a và l_n, thì chiều sâu nối tiếp với chiều sâu tại mặt cắt đầu sẽ bằng:

$$h_2^c = a + h_1^c - l_n tg\theta \qquad (10\text{-}6)$$

---

[1] Trong ví dụ này lấy $h_1^c \approx h_1$ (hình 10.1a) với giả thiết $\cos\theta = 1,0$.

[2] Xnheghirep I. A. Nước nhảy trong lòng dẫn có độ dốc đáy ngược "Xây dựng kĩ thuật thủy lợi", 1960, N°4.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

10.2. NƯỚC NHẢY TRONG ĐƯỜNG DẪN MẶT CẮT TRÒN

a) Nước nhảy khi đường kính của đường dẫn không đổi

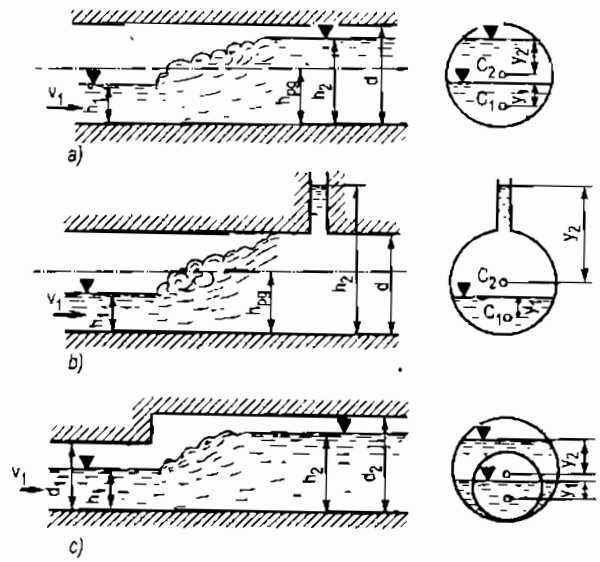
Trong các đường dẫn mặt cắt khép kín, thí dụ mặt cắt tròn, có thể xảy ra hai dạng nước nhảy (hình 10.3a, b).

Nếu đường kính của đường dẫn $d > h_2$, thì nước nhảy có dạng thông thường như trong kênh hở và các chiều sâu nối tiếp $h_1^c = h_1$ và $h_2^c = h_2$ được xác định từ phương trình nước nhảy.

$$N(h_1) = N(h_2)$$

trong đó: $N(h) = \dfrac{\alpha_o Q^2}{g\omega} + y\omega$

(xem mục 9.6).



Hình 10.3

Nếu $d < h_2$, thì các chiều sâu nối tiếp cũng được xác định từ phương trình hàm số nước nhảy (9-45).

$$\frac{\alpha_o Q^2}{g\omega_1} + y_1\omega_1 = \frac{\alpha_o Q^2}{g\omega_2} + y_2\omega_2$$

nhưng ở đây $y_2 = \left(h_2 - \dfrac{d_2}{2}\right)$, còn $\omega_2 = \dfrac{\pi d_2^2}{4}$, vì vậy chiều sâu nối tiếp thứ hai h_2 được tính (không cần thử dần) theo công thức:

$$h_2 = \frac{\alpha_o Q^2}{g\omega_1}\frac{(\omega_2 - \omega_1)}{\omega_2^2} + y_1\frac{\omega_1}{\omega_2} + \frac{d}{2} \qquad (10\text{-}7)$$

trong đó: ở vế phải tất cả các số hạng đều đã biết (Q - lưu lượng đã cho: $\omega_2 = \dfrac{\pi d_2^2}{4}$ được xác định d cho trước; ω - diện tích hình rẻ quạt bằng chiều sâu cho trước h_1; còn y_1 được xác định theo quy tắc tìm trọng tâm của diện tích).

Chiều dài nước nhảy trong trường hợp thứ nhất (tức là khi $d > h_2$) được xác định theo công thức của V. X. Kanfa[1]:

---

[1] Kanfa V. X. Tuyển tập "Thủy lực và kĩ thuật thủy lực", Kiep, "Kỹ thuật", 1967. N°5.

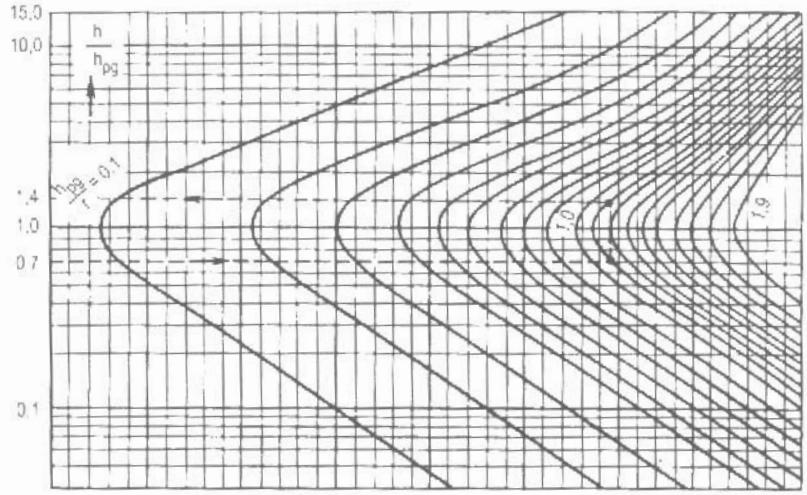
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

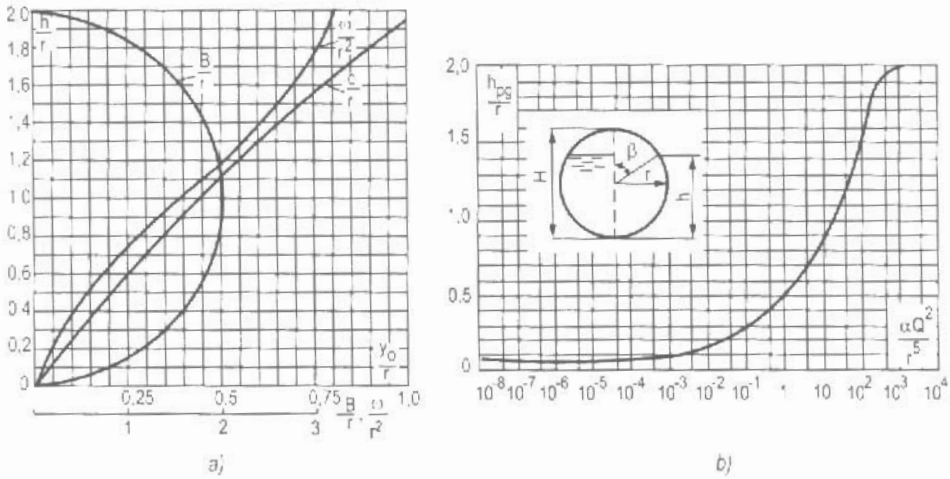
$$l_n = 6\frac{\omega_2 - \omega_1}{B_1} \qquad (10\text{-}8)$$

trong đó: B_1 - chiều rộng mặt thoáng tại mặt cắt thứ nhất.

Để đơn giản tính toán, ta dùng đồ thị[1] trình bày trên hình 10.4, 10.5.



Hình 10.4: *Đồ thị để xác định các chiều sâu nối tiếp của nước nhảy trong đường dẫn mặt cắt tròn khi $h_2 < d$*



Hình 10.5: *Đồ thị để xác định các đại lượng trong đường dẫn mặt cắt tròn a) Diện tích mặt cắt ướt, chiều sâu trọng tâm và chiều rộng mặt thoáng của mặt cắt; b) Chiều sâu phân giới.*

---

[1] Đồ thị do M. E. Factorovic vẽ. "Thông báo của VNHIIK" (Viện nghiên cứu khoa học cấp thoát nước), tập 32, 1947.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

b) Nước nhảy khi đường kính của đường dẫn thay đổi

Đối với trường hợp khi đường kính của đường dẫn thay đổi từ nhỏ đến lớn (hình 10.3c), phương trình của nước nhảy có dạng sau:

Khi $h_2^c < d$

$$\frac{\alpha_o Q^2}{g\omega_1} + y_1'\omega_1' = \frac{\alpha_o Q^2}{g\omega_2} + y_2\omega_2 = N(h) \qquad (10\text{-}9)$$

Khi $h_2^c > d_2$

$$\frac{\alpha_2 Q^2}{g\omega_1} + y_1'\omega_1' = \frac{\alpha_o Q^2}{g\Omega} + \left(h_2^c - \frac{d_2}{2}\right)\Omega \qquad (10\text{-}10)$$

Trong các phương trình này, ngoài các kí hiệu đã dùng, còn có ω_1' - diện tích mặt cắt ướt của đường dẫn đường kính lớn và chiều sâu mực nước bằng chiều sâu mực nước trong đường dẫn bé; y_1' - chiều sâu trọng tâm của diện tích ω_1' tính từ mặt thoáng trong đường dẫn có đường kính bé; d_2, Ω - đường kính và diện tích mặt cắt đường dẫn lớn.

Các công thức (10-7) - (10-10) không xét đến ảnh hưởng hàm khí của dòng chảy và khi viết không kể đến độ chênh áp suất có thể xảy ra của không khí trên mặt thoáng của nước[1].

Thí dụ 1: Xác định các thông số của nước nhảy (h_2^c, l_n) trong đường dẫn mặt cắt tròn. Đường kính của đường dẫn d = 2,2m; diện tích của đường dẫn $\Omega = 3,80m^2$; chiều sâu mực nước trước nước nhảy $h_1 = h_1^c = 0,9m$, $h_1/r = 0,90/1,10 = 0,82$; tốc độ trung bình trước nước nhảy $v_1 = 5$ m/s.

Hệ số động năng α lấy bằng 1,1; hệ số động lượng (mục 3.3) $\alpha_{o1} = 1,03$. Ta xem $\alpha_{o1} = \alpha_{o2}$.

Giải:

1- Xác định diện tích mặt cắt ướt trước nước nhảy theo bảng 3.1 hoặc theo đồ thị trên hình 10.5a. Khi $h_1/r = 0,82$, theo đồ thị ta tìm $\omega_1/r^2 = 1,22$, tức là $\omega_1 = 1,22.r^2 = 1,22.1,1^2 = 1,48m^2$; $B_1/r = 1,95$; $B_1 = 2,16m$.

Lưu lượng khi v = 5 m/s bằng $Q = \omega_1 v_1 = 1,48.5,0 = 7,4\ m^3/s$.

2- Chiều sâu phân giới trong từng trường hợp ta tìm được theo đồ thị trên hình 10.5b.

$$\frac{\alpha Q^2}{r^5} = \frac{1,1.7,4^2}{1,1^5} = 37,4\ m/s^2$$

$$h_{pg} = 1,12r = 1,12.1,1 = 1,23m$$

---

[1] Svainxtây A. M. "Thông báo của VNHIIK", tập 77, 80, 82, 1965 - 1966.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

3- Chiều sâu nối tiếp thứ hai được xác định theo đồ thị trên hình 10.4; $h_1^c / h_{pg} = 0,90/1,23 = 0,73$, do đó khi $h_{pg}/r = 1,12$ ta có $h_2^c / h_{pg} = 1,4$ và $h_2^c = 1,4h_{pg} = 1,4.1,23 = 1,72m < d$.

Diện tích mặt cắt ướt ω_2 và chiều rộng mặt thoáng của mặt cắt được tìm theo đồ thị trên hình 10.5a. Khi $h_2^c / r = 1,72/1,1 = 1,56$ ta có $\omega_2/r^2 = 2,6$; $\omega_2 = 2,6.1,1^2 = 3,14m^2$.

4- Chiều dài nước nhảy, khi đường dẫn chỉ đầy một phần, được xác định theo công thức (10-8).

$$l_n = 6\frac{\omega_2 - \omega_1}{B_1} = 6\frac{3,14 - 1,48}{2,16} = 4,6m$$

Thí dụ 2: Xác định chiều sâu h_2^c sau nước nhảy khi đường kính của đường dẫn thay đổi ($d_1 = 2,2m$; $d_2 = 8,0m$). Chiều sâu mực nước của đường dẫn đường kính bé $h_1 = 1,28m$ vận tốc nước $v_1 = 10$ m/s.

Giải:

1- Diện tích mặt cắt ướt của đường dẫn đường kính bé được xác định bằng đồ thị trên hình 10.5a $h_1/r_1 = 1,28/1,1 = 1,16$; $\omega_1 / r_1^2 = 1,89$; $\omega_1 = 1,89.1,1^2 = 2,29m^2$.

2- Diện tích mặt cắt ướt của đường dẫn đường kính lớn với chiều sâu mực nước $h_1 = 1,28m$ cũng được xác định bằng đồ thị trên hình 10.5a; $h_1/r_2 = 1,28/4,0 = 0,32$.

$$\frac{\omega_1'}{r_2^2} = 0,33; \quad \omega_1' = 0,33.4,0^2 = 5,28m$$

3- Xác định chiều sâu trọng tâm của diện tích ω_1'. Khi $h_1/r_2 = 1,28/4,0 = 0,32$, theo đồ thị hình 10.5a có $y_1' / r_2 = 0,13$, do đó $y_1' = 0,13r_2 = 0,13.4,0 = 0,52m$.

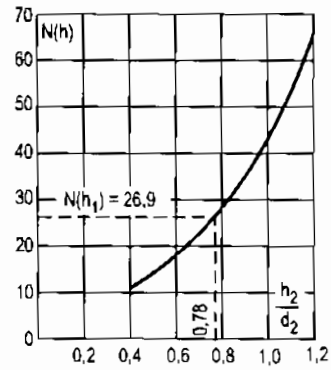
4- Khi đã biết vận tốc $v_1 = 10$ m^3/s, ta xác định được lưu lượng $Q = \omega_1 v_1 = 2,29.10,0 = 22,9$ m^3/s.

5- Giả thiết là $h_2^c < d_2$, ta tính $N(h_1)$, tức là tìm giá trị vế trái của phương trình (10-9), lấy $\alpha_o = 1,03$;

$$N(h_1) = \frac{\alpha_o Q^2}{g\omega_1} + y_1'\omega_1'$$

$$= \frac{1,03.22,9^2}{9,81.2,29} + 0,52.5,25$$

$$= 24,0 + 2,7 = 26,7$$



Hình 10.6

6- Xác định h_2^c. Muốn vậy cho một số giá trị h_2/d_2, rồi giống như trên, tính các giá trị ω_2 và y_2.

https://tieulun.hopto.org

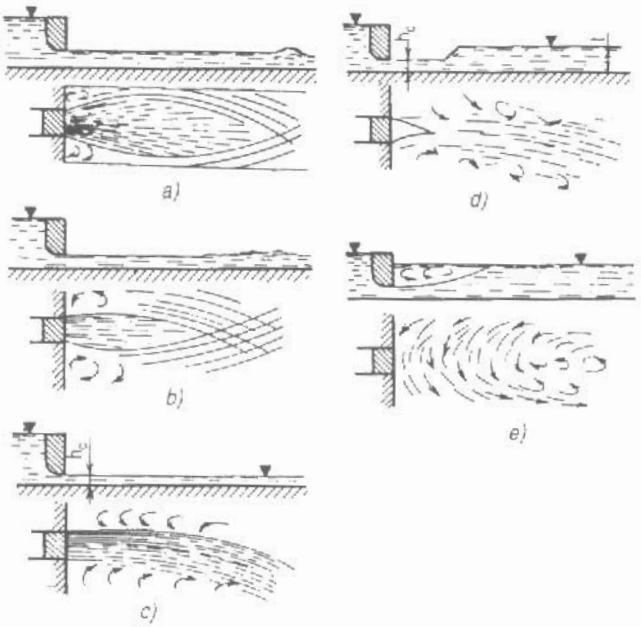
www.thuvien247.net

Theo công thức (10-9) tính $N(h_2)$ vẽ đường cong $N(h_2) = f(h_2 / d_2)$ (hình 10.6). Khi $N(h_2) = N(h_1) = 26,9$ trên hình 10.6, xác định $h_2^c / d_2 = 0,78$. Từ đó $h_2^c = 0,78.d_2 = 0,78.8,0 = 6,24m$, tức là bé hơn $d_2 = 8,0m$. Vậy là sau nước nhảy, đường dẫn chảy không áp. Nếu thấy $h_2^c > d_2$, thì phải tiến hành tính toán lại bằng cách xác định trực tiếp h_2 theo phương trình (10.10).

10.3. NƯỚC NHẢY KHÔNG GIAN TRONG LÒNG DẪN LĂNG TRỤ

Nếu ở hạ lưu, lòng dẫn rộng hơn mặt cắt ban đầu là mặt cắt mà dòng chảy đi qua để vào hạ lưu, thì tùy theo các thông số dòng chảy (lưu lượng, vận tốc, chiều sâu tương đối và chiều rộng hạ lưu) mà sẽ có một trong số các dạng luồng chảy như trên hình 10.7. Nước nhảy trong các trường hợp này được hình thành trong các điều kiện không gian.

Bài toán có ý nghĩa thực tế lớn nhất là xác định các điều kiện mà ở đó dòng chảy mở rộng chuyển thành luồng chảy không mở rộng (hình 10.7c) và sau đó khi mực nước ở hạ lưu tăng, luồng chảy sẽ bị ngập một phần (hình 10.7d) hoặc ngập hoàn toàn (hình 10.7e). Trong nhiều trường hợp việc tính toán chiều sâu và vận tốc của dòng xiết mở rộng tự do (hình 10.7a, b) cũng là vấn đề thú vị.



Hình 10.7

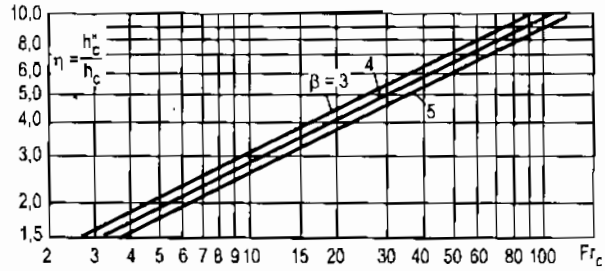
a) Mở rộng, bị giới hạn bằng các tường bên; b) Mở rộng, không bị giới hạn; c) Luồng chảy không mở rộng, d) Luồng chảy bị ngập; e) Luồng chảy bị ngập hoàn toàn

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

a) Các điều kiện ngập của dòng xiết

Nếu có dòng nước hai bên chảy vào luồng (hình 10.7d), thì dòng xiết sẽ bị ngập khi chiều sâu hạ lưu t lớn hơn h_c'' là chiều sâu nối tiếp với chiều sâu của dòng xiết tại mặt cắt ban đầu. Chiều sâu h_c'' có thể xác định bằng đồ thị của M. Đ. Abramôp[1] (hình 10.8) được vẽ cho $\beta = B/b = 1 \div 5$, trong đó B - chiều rộng lòng dẫn ở hạ lưu; b - chiều rộng lỗ.



Hình 10.8

Đồ thị được xây dựng trong tọa độ $Fr_c = v_c^2 / gh_c$ và $\eta = h_c'' / h_c$, trong đó h_c - chiều sâu tại mặt cắt đầu.

Thí dụ: Cho Q = 10 m^3/s; b = 2m; h_c = 0,5m và B = 6m. Xác định chiều sâu hạ lưu t cần thiết để xảy ra nước nhảy ngập.

Giải:

1- Ta xác định số Frud: $$Fr = \frac{Q^2}{(bh_c)^2 gh_c} = \frac{10^2}{(2.0,5)^2.9,81.0,5} = 20,5$$

2- Ta tìm trên đồ thị hình 10.8, khi $\beta = 6/2 = 3$ và Fr = 20,5 thì tỉ số $\eta = h_c'' / h_c = 4,5$. Chiều sâu cần tìm $h_c'' = 4,5.0,5 = 2,25m$.

Khi chiều sâu t lớn hơn 2,25m, nước nhảy sẽ ngập.

b) Dòng xiết mở rộng có sự hình thành nước nhảy xiên

Ta phân biệt ba đoạn đặc trưng (hình 10.9) khi dòng xiết mở rộng trong lòng dẫn có chiều rộng bị hạn chế. Đoạn thứ nhất - đến tuyến mở rộng hoàn toàn (DD); đoạn thứ hai - đoạn của nước nhảy xiên (từ tuyến mở rộng hoàn toàn đến điểm E là giao điểm của nước nhảy xiên và trục dòng chảy); đoạn thứ ba - tiếp theo cho đến tuyến nước nhảy thẳng được hình thành khi chiều sâu bình thường ở hạ lưu đủ lớn.

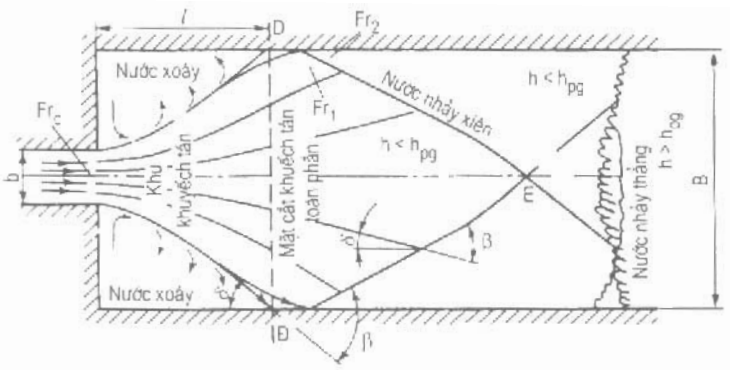
Khi chiều sâu hạ lưu tăng, tuyến nước nhảy thẳng sẽ nhích gần đến mặt cắt mở rộng hoàn toàn và hình dạng của nó trong bình đồ sẽ thay đổi. Ở một chiều sâu nào đó sau khi nước bị tách dòng trong khu vực nước quay, ngoài dòng biên (hình 10.9) sẽ có dạng mở rộng không bị hạn chế bởi tường biên (hình 10.7b) hoặc luồng không mở rộng (hình 10.7c) (thường là xiên).

---

[1] Abramôp M. Đ. "Thông báo VNHIIK", M., 1940, tập XXVI.

https://tieulun.hopto.org

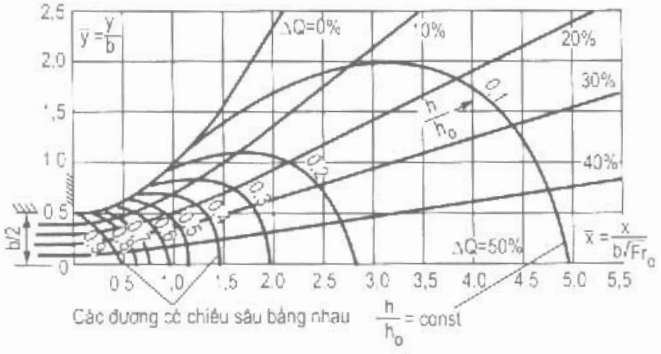
www.thuvien247.net



Hình 10.9

δ - góc giữa đường dòng và trục dòng chảy;

β - góc giữa đường dòng và tuyến hình thành nước nhảy xiên tại các điểm phản xạ



Hình 10.10

Để tính toán chiều sâu và vận tốc dòng xiết mở rộng, I. A. Serenkôp[1] đề nghị dùng đồ thị (hình 10.10) được vẽ trong các tọa độ.

$$\bar{y} = \frac{y}{b}; \quad \bar{x} = \frac{x}{b\sqrt{Fr_0}} \qquad (10\text{-}11)$$

và bảng 10.1 tương ứng với đồ thị đó.

trong đó:

b - chiều rộng của luồng chảy tại mặt cắt đầu;

$Fr_0 = v_c^2 / gh_0$ - số Frud của mặt cắt đầu ($h_0 = h_c$).

Khi $\bar{y} \geq 1,1$, chiều sâu tương đối trên đường dòng biên ($\Delta Q = 0$) có thể xác định theo X. M. Xlixki, bằng công thức lí thuyết khi $\bar{y} > 1,1$

$$\frac{h}{h_0} = \frac{0,1}{(\bar{y} - 0,1)^{1/2}} \qquad (10\text{-}12)$$

Khi $\bar{y} > 1,7$ nên lấy $h/h_0 = 0,05$.

---

[1] Serenkôp I. A. "Công trình của ximêne liên ngành về xây dựng thủy năng", Khackôp, 1958, cuốn I; 1961, cuốn III.

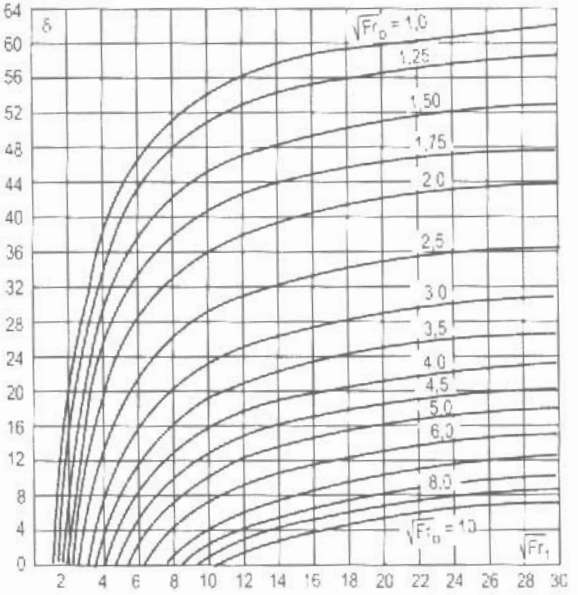
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 10.1. Tọa độ của các đường cùng chiều sâu và các đường dòng trong khu vực mở rộng của dòng xiết

ΔQ (%)	Các tọa độ	Các đường cùng chiều sâu h/h_0 = const									
		0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,05
0	$\bar{x}$	0,050	0,150	0,280	0,400	0,500	0,600	0,730	0,860	1,100	–
	$\bar{y}$	0,503	0,510	0,530	0,565	0,620	0,675	0,760	0,870	1,100	–
10	$\bar{x}$	0,165	0,305	0,460	0,610	0,790	1,000	1,210	1,660	2,770	4,470
	y	0,405	0,420	0,450	0,500	0,575	0,690	0,820	1,110	1,980	3,380
20	$\bar{x}$	0,270	0,430	0,610	0,780	0,970	1,220	1,590	1,140	3,790	6,920
	$\bar{y}$	0,310	0,330	0,360	0,410	0,480	0,580	0,750	2,020	1,840	3,360
30	$\bar{x}$	0,370	0,520	0,710	0,880	1,060	1,360	1,800	2,460	4,370	8,140
	$\bar{y}$	0,210	0,230	0,250	0,290	0,350	0,440	0,560	0,770	1,360	2,520
40	$\bar{x}$	0,450	0,590	0,750	0,920	1,120	1,430	1,910	2,690	4,770	9,250
	$\bar{y}$	0,115	0,125	0,140	0,160	0,190	0,230	0,300	0,410	0,760	1,350
50	$\bar{x}$	0,480	0,610	0,770	0,940	1,130	1,450	1,950	2,760	4,940	9,950
	$\bar{y}$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Khi bình đồ chảy qua dòng xiết đã vẽ xong, thì việc tính toán nước nhảy xiên (vị trí tuyến, các chiều sâu và vận tốc sau nước nhảy) có thể tiến hành theo toán đồ của I. A. Serenkôp (để xác định góc δ giữa phương của đường đồng biên và trục dòng chảy, hình 10.11) và của B. T. Emxep[1] (để xác định góc β giữa phương của vectơ vận tốc và tuyến của nước nhảy xiên, giá trị $\sqrt{Fr_2}$ ứng với trạng thái dòng chảy sau nước nhảy xiên, và tỉ số $\eta = h_2/h_1$ của các chiều sâu sau và trước nước nhảy xiên (hình 10.12).



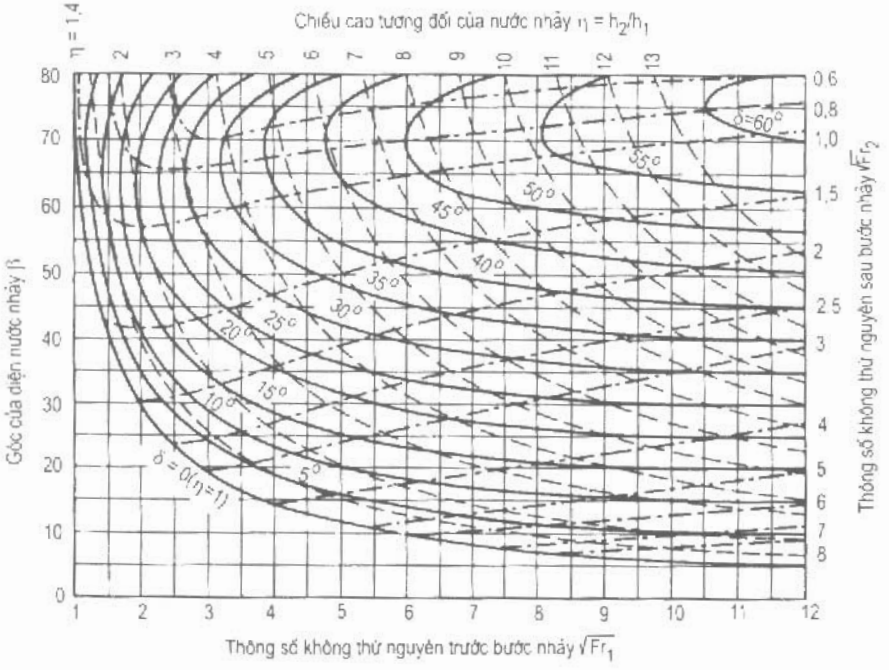
Hình 10.11

[1] Emxep B. T. Dòng xiết hai chiều. NXB "Năng lượng", 1968.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Khi dùng toán đồ trên hình 10.12, nên chú ý là nếu $\sqrt{Fr_2} > 1$ thì dòng chảy sau nước nhảy xiên vẫn là xiết, còn khi $0,8 < \sqrt{Fr_2} < 1$ nó sẽ trở thành êm; khi tiếp tục giảm $\sqrt{Fr_2}$ sẽ hình thành nước nhảy trên tuyến thẳng góc với đường dòng. Trong thực tế, góc mở rộng δ đối với đường dòng $\Delta Q = 0$ có giá trị hơi lớn hơn, còn mặt cắt mở rộng hoàn toàn nằm gần mặt cắt ban đầu hơn là kết quả tính toán theo đồ thị hình 10.10.



Hình 10.12

——— $\delta = const$; ----- $\eta = const$; — — - $N_2 = const$

Khoảng cách *l* đến mặt cắt mở rộng hoàn toàn có thể được xác định theo công thức sau đây do X. M. Xlixki đề nghị trên cơ sở chỉnh lí các kết quả thí nghiệm của G. A. Lilixki.

Khi $Fr_0 = 3,7$; $i_0 = 0$:

$$\lambda = \frac{l}{b} = \lambda_0 + [0,047(\beta - 3) + 0,032]$$

trong đó $\lambda_0 = 0,415(\beta - 3) + 1,26$; $\beta = B/b$;

Khi $Fr_0 \leq 3,7$: $\lambda = \lambda_0$

Công thức đã được kiểm tra bằng thí nghiệm khi $Fr_0 \leq 16,8$.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Thí dụ: Xác định vận tốc và các chiều sâu của dòng xiết mở rộng tự do chảy từ một ống chữ nhật vào lòng dẫn ngang. Chiều rộng lòng dẫn B = 10,0m, chiều rộng ống b = 3,0m, độ dốc đáy lòng dẫn i = 0; Lưu lượng Q = 27,6 m^3/s chiều sâu tại mặt cắt ra của ống h_o = 1,46m (hình 10.13). Vận tốc tại mặt cắt ra:

$$v_o = \frac{Q}{bh_o} = \frac{27,6}{3,0.1,46} = 6,3 m/s;\ \sqrt{Fr_o} = \frac{6,3}{\sqrt{9,81.1,46}} = 1,67$$

$$T_o = h_o + \frac{v_o^2}{2g} = 1,46 + \frac{6,3^2}{19,62} = 3,48m$$

Giải:

1- Đối với các giá trị b và Fr_o đã cho, theo bảng 10.1 và các công thức (10-11) ta xác định các tọa độ của đường dòng và đường có chiều sâu bằng nhau (bảng A) và theo chúng vẽ bình đồ chảy (hình 10.13).

Tọa độ tương đối $\bar{y}$ của giao điểm của đường dòng biên và thành (điểm D) bằng $\bar{y} = y/b = 5,0/3,0 = 1,7$. Vị trí số $\bar{y}$ lớn hơn 1,1, ta xác định chiều sâu $h = h_1$ tại điểm D theo công thức (10-12):

$$\frac{h}{h_o} = \frac{0,1}{(\bar{y} - 0,1)^{3/2}} = \frac{0,1}{(1,67 - 0,1)^{3/2}} = 0,051$$

do đó $h_1 = 0,051.1,46 = 0,07m$.

2- Vận tốc ứng với các đường có chiều sâu bằng nhau được xác định bằng phương trình Becnuli viết cho đường dòng. Bỏ qua tổn thất cột nước trong lần tính gần đúng thứ nhất. Cũng vậy, ta xác định vận tốc ở đường dòng biên gần thành (điểm D), trong đó $h_1 = 0,07m$:

$$v = \sqrt{2g(T_o - h_1)} = \sqrt{19,62(3,48 - 0,07} = 8,17\ m/s$$

Số Frud ứng với vận tốc này và chiều sâu h_1 bằng:

$$Fr_1 = \frac{v^2}{gh_1} = \frac{8,17^2}{(9,81.0,07)} = 97,2; \qquad \sqrt{Fr_1} = 9,86$$

3- Theo đồ thị hình 10.11a, khi $\sqrt{Fr_o} = 1,67$ và $\sqrt{Fr_1} = 9,86$, ta xác định được góc lệch giữa đường dòng và trục dòng (trong trường hợp này là góc giữa đường dòng và thành) $\delta = 43^o$.

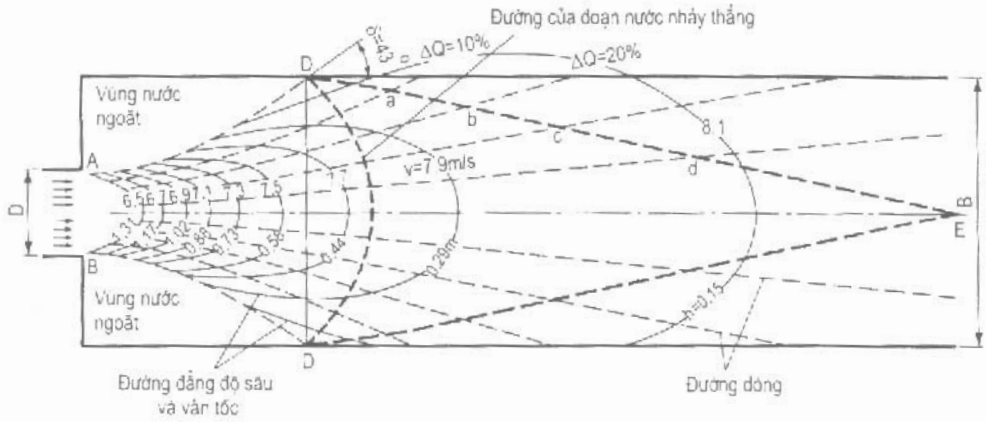
4- Theo đồ thị trên hình 10.12, khi biết $\delta = 43^o$ và $\sqrt{Fr_1} = 9,86$, ta xác định được góc giữa phương vectơ vận tốc tại điểm D và tuyến nước nhảy xiên $\beta = 50^o$ và giá trị $\sqrt{Fr_2} = 2,0$ ứng với dòng chảy ở thành sau nước nhảy xiên.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng A. Các tọa độ của đường dòng và của các đường cùng chiều sâu khi Fr_0 = 1,67; h_0 = 1,46m; v_0 = 6,3 m/s; T_0 = 3,48m

Đường các chiều sâu bằng nhau h/h_0	Chiều sâu h (m)	Vận tốc v (m/s)	Các tọa độ của đường dòng và của đường cùng một chiều sâu											
			ΔQ = 0%		ΔQ = 10%		ΔQ = 20%		ΔQ = 30%		ΔQ = 40%		ΔQ = 50%	
			x (m)	y (m)	x (m)	y (m)	x (m)	y (m)	x (m)	y (m)	x (m)	y (m)	x (m)	y (m)
0.9	1,31	6.52	0,25	1.51	0,83	1,22	1,35	0,93	1.95	0,63	2.26	0.34	2,40	0,00
0,8	1,17	6.73	0,75	1,53	1,53	1,26	2.15	0,99	2.66	0,69	2.96	0,38	3,06	0,00
0.7	1,02	6,95	1,40	1.59	2,30	1.35	3,06	1,08	3,56	0,75	23.76	0,42	3,86	0.00
0,6	0,88	7.15	2,01	1,70	3,06	1,50	3,91	1,23	4.41	0.81	4.61	0,48	4.71	0,00
0,5	0,73	7,35	2,51	1.86	3,96	1.72	4,87	1.44	5,31	1.05	5,62	0,57	5.67	0.00
0,4	0.58	7,53	3.01	2,02	5,01	2,07	6,12	1.74	6,82	1,32	7.18	0,69	7.27	0,00
0,3	0,44	7,72	3,66	2,28	6,07	2,46	7,98	2,25	9,04	1.68	9,60	0,90	9,78	0,00
0.2	0.29	7,90	4,31	2,61	8,33	3,33	10,75	3,06	12,30	2,31	13,50	1,23	13,82	0,00
0.1	0,15	8,07	5,50	3,30	13,90	5,94	19,00	5,52	21,90	4.08	23,90	2.28	24,75	0,00



Hình 10.13

5- Từ điểm D với góc β so với đường dòng ΔQ = 10% ta vẽ đường của tuyến nước nhảy xiên cho đến giao điểm a với đường dòng ΔQ = 10%. Tại điểm này, tìm trên bình đồ chảy góc δ = 27°. Chiều sâu h_1 tại điểm a tìm bằng cách nội suy các giá trị của h giữa các giao điểm của đường dòng ΔQ = 10% và đường có chiều sâu bằng nhau h/h_0 = 0,1 và 0,2. Vận tốc tại điểm a tìm từ phương trình Becnuli cho đường dòng ΔQ = 10% hoặc bằng nội suy; h_1 = 0,22m; v = 8,0 m/s (xem bảng B). Do đó:

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$\sqrt{Fr_1} = \frac{8,0}{\sqrt{9,81.0,22}} = 5,45$$

6- Trên đồ thị hình 10.12 khi $\delta = 27^0$ và $\sqrt{Fr_1} = 5,45$, ta tìm góc $\beta = 37^0$; $\eta = h_2/h_1 = 4,1$; $\sqrt{Fr_2} = 2,2$; $Fr_2 = 4,84$. Do đó, chiều sâu sau nước nhảy xiên tại điểm a bằng $h_2 = 4,1.0,22 = 0,9m$. Theo công thức (9-46) ta tìm chiều sâu nối tiếp với chiều sâu $h_2 = 0,9m$. Có $h_2^c = 2,4m$.

7- Tương tự như trên, sẽ tìm được các thông số của nước nhảy xiên tại các điểm b, c, d, E (bảng B).

Bảng B. Tính toán nước chảy xiên

Điểm	Đường dòng ΔQ (%)	δ (độ)	h_1 (m)	v (m/s)	$\sqrt{Fr_1}$	β (độ)	$\sqrt{Fr_2}$	η	h_2 (m)	Fr_2	h_2^c (m)
a	10	27	0,22	8,02	5,45	37	2,2	4,1	0,90	4,84	2,4
b	20	18	0,24	7,98	5,37	29	2,7	3,2	0,77	7,29	2,5
c	30	12	0,22	8,02	5,45	22	3,3	2,3	0,50	10,89	2,1
d	40	9	0,18	8,06	6,07	18	4,0	2,0	0,36	16,00	1,9
E	50	0	0,11	8,15	7,85	7	7,2	1,4	0,15	51,84	1,5

Ghi chú:

1. Không tiến hành tính toán chiều sâu sau nước nhảy tại điểm D vì do dòng chảy tiến về phía tường nên nó lớn hơn chiều sâu tính toán.

2. Ta tìm giá trị η tại điểm E trực tiếp bằng công thức các chiều sâu nối tiếp của nước nhảy xiên: $\eta = (\sqrt{1 + 8Fr\sin^2\beta} - 1)$.

Kết quả tính toán cho thấy, theo trục dòng chảy, trước giao điểm các đường nước nhảy xiên, chiều sâu $h_1 = 0,11m$, sau giao điểm $h_2 = 0,15m$, còn chiều sâu của dòng chảy êm nối tiếp với chiều sâu hình thành sau giao điểm của nước nhảy xiên $h_2^c = 1,5m$. Điều đó có nghĩa là khi chiều sâu bình thường ở hạ lưu bé hơn 1,5m, dòng chảy vẫn là xiết và hình thành tiếp theo đấy nước nhảy xiên. Khi tăng chiều sâu bình thường, nước nhảy thẳng sẽ chuyển dần về phía hạ lưu đến đoạn nước nhảy xiên.

Có thể tính toán theo trình tự được trình bày trong thí dụ dưới đây các thông số và hình dạng mặt bằng của nước nhảy thẳng di chuyển trên đoạn của nước nhảy xiên đến mặt cắt mở rộng hoàn toàn.

Thí dụ: Với các số liệu cho trước và bình đồ chảy của dòng xiết trong ví dụ trước hãy vẽ đường của tuyến nước nhảy thẳng sau mặt cắt mở rộng hoàn toàn và tìm chiều sâu dòng chảy sau nước nhảy.

Giải:

1- Tuyến của nước nhảy thẳng phải thẳng góc với các đường dòng. Nên để vẽ tuyến này, từ điểm D vẽ đường thẳng góc với đường dòng ΔQ = 0 đến giao điểm của đường đó với đường dòng ΔQ = 10%. Tiếp tục cách làm này, ở lần gần đúng

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

thứ nhất ta vẽ được đường của tuyến nước nhảy thẳng trên cả lòng dẫn giữa hai điểm D. Nối các điểm giữa của các đoạn nằm giữa hai đường dòng kề nhau, ta có đường dòng cần tìm của tuyến nước nhảy thẳng (hình 10.13).

2- Tại giao điểm của đường dòng $\Delta Q = 50\%$ với tuyến của nước nhảy, bằng cách nội suy giữa các đường có chiều sâu bằng nhau (trước và sau điểm này) ta xác định được chiều sâu h_1 của dòng chảy trước nước nhảy là $h_1 = 0,39m$.

3- Từ phương trình Becnuli viết cho đường dòng $\Delta Q = 50\%$, ta xác định được vận tốc v trước nước nhảy và $\sqrt{Fr_1}$.

$$v = \sqrt{2g(T_o - h_1)} = \sqrt{19,62(3,48 - 0,39)} = 7,8 \text{ m/s}$$

$$\sqrt{Fr_1} = \frac{v}{\sqrt{gh_1}} = \frac{7,8}{\sqrt{9,81.0,39}} = 4,0$$

4- Theo công thức của các chiều sâu nối tiếp (9-46) ta xác định chiều sâu của dòng chảy êm nối tiếp với chiều sâu h_1 trước nước nhảy: $h_2^c = 1,9m$. Đối với các đường dòng khác, từ các tính toán tương tự, ta có trên toàn tuyến nước nhảy chiều sâu h_2^c vẫn giữ nguyên giá trị như giá trị trên đường dòng $\Delta Q = 50\%$.

Do đó, với chiều sâu bình thường ở hạ lưu $h_b = h_2^c = 1,9m$, nước nhảy thẳng sẽ xảy ra ở mặt cắt mở rộng hoàn toàn của dòng xiết. Khi $h_b < 1,9m$ sẽ xảy ra nước nhảy xa, trong đó khi $h_b < 1,5m$ nước nhảy xa sẽ xuất hiện ở ngoài phạm vi của đoạn nước nhảy xiên (xem ví dụ trên). Khi $h_b > 1,9m$, nước sẽ thoát vào khu vực ngoài đường dòng biên $\Delta Q = 0$, ở đó hình thành nước quay: sẽ xuất hiện dòng xiên hoặc sự mở rộng của dòng xiết không bị hạn chế bởi thành biên.

Khi $1,5 < h_{bt} < 1,9m$, nước nhảy sẽ hình thành trong phạm vi đoạn của nước nhảy xiên.

Khi vẽ bình đồ chảy có xét đến tổn thất cột nước, vận tốc tại mặt cắt của đường dòng được xác định bằng phương trình Becnuli có xét đến độ dốc i_o của lòng dẫn và độ dốc ma sát i_f xác định bằng công thức Sêzi:

$$h_1 = \frac{\alpha v_1^2}{2g} + i_o \Delta s = h_2 + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + i_f \Delta s \qquad (10\text{-}13)$$

trong đó: Δs - khoảng cách dọc đường dòng giữa mặt cắt được chọn ban đầu và cuối cùng.

Theo bình đồ chảy ta có thể chọn hình dạng của lòng dẫn mở rộng, mà trong đó sẽ không có nước nhảy xiên và sự tách dòng khỏi tường biên. Theo các số liệu thí nghiệm, hình dạng có thể chấp nhận được của loại lòng dẫn này có thể vẽ được theo phương trình[1]:

---

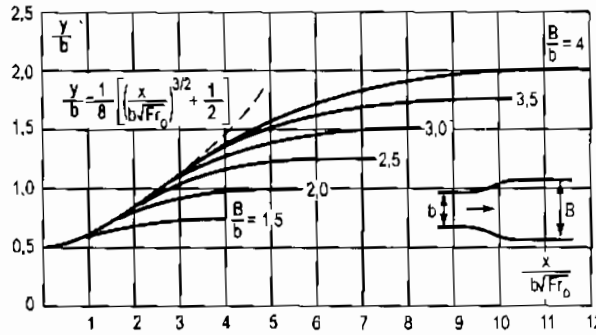
[1] Chow V. T. Thủy lực dòng chảy hở, M., NXBXD, 1969, trang 331 - 332.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$\frac{y}{b} = 0,5\left[\left(\frac{x}{b\sqrt{Fr_o}}\right)^{3/2} + 1\right] \qquad (10\text{-}14)$$

Hình dạng này của lòng dẫn mở rộng gần như tương ứng với đường dòng $\Delta Q = 5\%$, là đường dòng được xây dựng theo kết quả tính toán không xét đến tổn thất cột nước.



Hình 10.14

Lòng dẫn được vẽ theo phương trình (10-14) sẽ là lòng dẫn mở rộng không hạn chế. Các tường mở rộng trong thực tế thường nối tiếp với tường song song, kết quả là có thể dẫn đến sự xuất hiện các sóng kích động. Có thể khử các sóng kích động này bằng cách tạo nước nhảy ở cuối đoạn mở rộng, bằng cách hạ đáy bằng một bậc tại mặt cắt cuối của đoạn mở rộng hoặc là chọn hợp lí hình dạng tường trên đoạn lòng dẫn mở rộng (hình 10.14). Trong trường hợp sau để đạt được sự mở rộng lòng dẫn bằng tường bên, đòi hỏi chiều dài phải lớn.

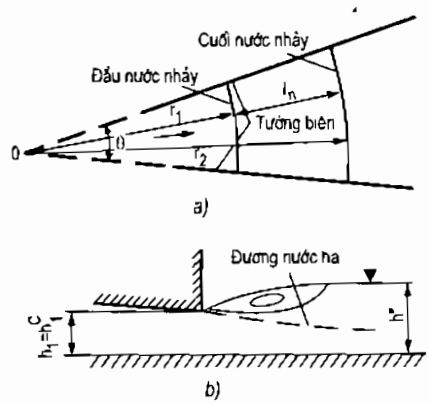
10.4. NƯỚC NHẢY TRONG LÒNG DẪN MỞ RỘNG DẦN

Khi chảy dưới cửa van và qua lỗ, việc tính toán các chiều sâu nối tiếp trong lòng dẫn mở rộng có các đường dòng hướng tâm (hình 10.14a) được vẽ trong mặt bằng theo cung tròn, có thể tiến hành theo công thức O. F. Vaxilep[1]. Trong tính toán gần đúng cũng có thể dùng các công thức cả trong trường hợp mặt cắt ban đầu phẳng. Chiều dài nước nhảy:

$$l_n = \frac{10,3h_1(\sqrt{Fr_1} - 1)^{0,81}}{1 + 0,54\dfrac{h_1}{r_1}(\sqrt{Fr_1} - 1)^{0,81}} \qquad (10\text{-}15)$$

trong đó:

r_1 - bán kính ứng với chiều sâu nối tiếp thứ nhất;



Hình 10.14a

[1] Vaxilep O. F. - "Báo cáo của Viện hàm lâm khoa học Liên Xô", 1956, tập 106, No 5.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Fr_1 - số Frud của mặt cắt đầu của nước nhảy.

$$Fr_1 = \left(\frac{h_{pgl}}{h_1}\right)^3 = \frac{\alpha}{g}\left(\frac{Q}{\theta}\right)^2 \frac{1}{r_1^2 h_1^3} \qquad (10\text{-}16)$$

Chiều sâu phân giới của mặt cắt đầu của nước nhảy:

$$h_{pgl} = \sqrt[3]{\frac{\alpha}{g}\left(\frac{Q}{\theta r_1}\right)^2} \qquad (10\text{-}17)$$

trong đó: α - hệ số hiệu chỉnh cột nước vận tốc ($\alpha \approx 1$) (xem mục 3.3);

g - gia tốc rơi tự do;

Q - lưu lượng;

θ - góc mở rộng của kênh trong mặt bằng (radian):

$$\theta = \frac{\pi}{180}\theta^o = \frac{\theta^o}{57,3} \qquad (10\text{-}18)$$

Công thức (10-15) có thể viết dưới dạng:

$$l_n = \frac{f}{1 + 0,052 f \frac{h_1}{r_1}} h_1 \qquad (10\text{-}19)$$

trong đó: $f = 10,3(\sqrt{Fr_1} - 1)^{0,81}$ có thể tìm trong bảng 9.9.

Có thể xác định các chiều sâu nối tiếp của nước nhảy trong lòng dẫn mở rộng từ phương trình:

$$\frac{2\alpha'}{g}\left(\frac{Q}{\theta}\right)^2 \frac{1}{r_1 h_1^c} + r_1 (h_1^c)^2 = \frac{2\alpha'}{g}\left(\frac{Q}{\theta}\right)^2 \frac{1}{r_2 h_2^c} + r_2 (h_2^c)^2 - \frac{(h_1^c)^2 + h_1^c h_2^c + (h_2^c)^2}{3} l_n \qquad (10\text{-}20)$$

trong đó: α' - hệ số động lượng ($\alpha' \approx 1$);

β - hệ số bằng 0,9;

r_2 - bán kính ứng với chiều sâu nối tiếp thứ hai $h_2^c = h$ (hình 10.14a)

$$r_2 = r_1 + l_n \qquad (10\text{-}21)$$

Tỉ số Q/θ - lưu lượng riêng của dòng chảy trên một radian.

Khi chiều sâu trong lòng dẫn $t > h$, nước nhảy trong mặt cắt đầu sẽ ngập. Nếu chiều sâu trong lòng dẫn $t < h$, thì nước nhảy sẽ là nước nhảy xa.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Chiều sâu nối tiếp thứ hai và chiều dài nước nhảy không gian trong lòng dẫn mở rộng bé hơn của nước nhảy trong lòng dẫn lăng trụ dưới cùng các điều kiện tại mặt cắt đầu. Thí nghiệm kiểm tra công thức được tiến hành với θ = 19,26 và 31°.

Thí dụ: Dòng chảy từ ống xả nước đáy chữ nhật có áp mở rộng trong mặt bằng (hình 10.14a) chảy vào lòng dẫn được mở rộng với góc θ = 20°. Chiều rộng lỗ ra b = 5,0m, chiều cao h_1 = 1,0m, lưu lượng Q = 80 m^3/s. Xác định chiều dài nước nhảy và chiều sâu nối tiếp h_2^c.

Giải:

1- Bán kính ứng với mặt cắt ban đầu:

$$r_1 = \frac{b}{2\sin\frac{\theta}{2}} = \frac{5,0}{2.0,174} = 14,4m$$

2- Chiều sâu phân giới và số Frud tại mặt cắt đầu:

$$h_{pg1} = \sqrt[3]{\frac{\alpha}{g}\left(\frac{Q}{r_1}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{1,0}{9,81}\right)^2\left(\frac{80}{0,349.14,4}\right)} = \sqrt[3]{25,6} = 2,95m$$

Ở đây: $\theta = \frac{\theta^0}{57,3} = \frac{20}{57,3} = 0,349rad$

$$Fr_1 = \left(\frac{h_{pg1}}{h_1}\right)^3 = \left(\frac{2,95}{1,0}\right)^3 = 25,6$$

3- Chiều dài của nước nhảy được xác định theo công thức (10-9)

$$l_n = \frac{f}{1+0,052f\frac{h_1}{r_1}}h_1 = \frac{32}{1+0,052.32\frac{1,0}{14,4}}1,0 = 28,67m$$

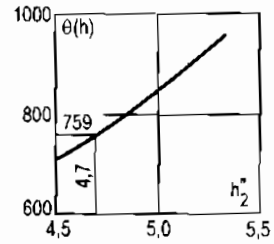
Bán kính ứng với chiều sâu nối tiếp thứ hai $r_2 = r_1 + l_n = 14,4 + 28,67 = 43,07m$.

Giá trị f = 32 được tìm theo bảng 9.9 với Fr_1 = 25,6.

4- Từ phương trình (10-20) ta xác định đại lượng h_2^c cần thiết. Lấy $h_1 = h_1^c$, ta tính vế trái của phương trình:

$$\frac{2\alpha'}{g}\left(\frac{Q}{\theta}\right)^2\frac{1}{r_1h_1^c} + r_1(h_1^c)^2$$

$$= \frac{2.1,0}{9,81}\left(\frac{80}{0,349}\right)^2\frac{1}{14,4.1,0} + 14,4.1,0^2 = 761$$



Hình 10.15

Trong vế trái của phương trình (10-20) h_2^c là đại lượng chưa biết:

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$\frac{2\alpha'}{g}\left(\frac{Q}{\theta}\right)^2\frac{1}{r_2 h_2^c}+r_2(h_2^c)^2-\beta\frac{(h_1^c)^2+h_1^c h_2^c+(h_2^c)^2}{3}l_n=$$

$$=-\frac{2.1,0}{9,81}\left(\frac{80}{0,349}\right)^2\frac{1}{42,4h_2^c}+42,4(h_2^c)^2-0,9\frac{1,0+1,0h_2^c+(h_2^c)^2}{3}28,0$$

Cho một vài giá trị h_2^c, ta vẽ được đồ thị $\theta(h) = f(h_2^c)$ (hình 10.15) và xác định được $h_2^c = 4,7$m.

10.5. NƯỚC NHẢY TRONG LÒNG DẪN THU HẸP

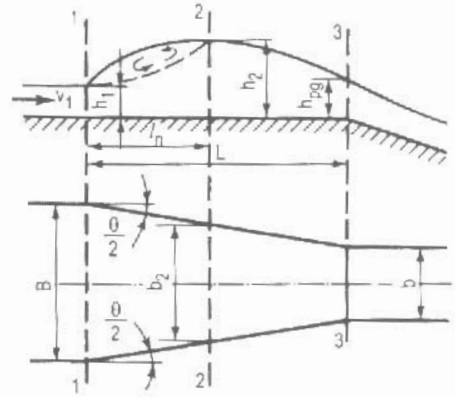
Nước nhảy trong lòng dẫn chữ nhật thu hẹp đặt trước một lòng dẫn chữ nhật có độ dốc lớn hơn phân giới (hình 10.16) hoặc có một bậc, có thể tính toán theo các công thức của A. V. Sepxencô[1]. Trong phạm vi đoạn thu hẹp sẽ hình thành dòng chảy xiết hoặc dòng chảy êm.

Lưu lượng ứng với trạng thái chuyển từ xiết sang êm được xác định bằng công thức:

$$Q_{pg} = \mu_{pg} b\sqrt{2g}\,\vartheta_1^{3/2} \qquad (10\text{-}22)$$

trong đó: ϑ_1 - năng lượng đơn vị ở mặt cắt ở đầu đoạn thu hẹp.

Hệ số lưu lượng μ_{pg} ở trạng thái phân giới của dòng chảy được xác định từ biểu thức:



Hình 10.16

$$\mu_{pg} = 0,366 - 0,016\left(0,2Fr + \frac{\psi - 1}{2tg\frac{\theta}{2}}\right) \qquad (10\text{-}23)$$

trong đó: Fr_1 - số Frud tại mặt cắt đầu 1-1;

$\psi = b/B$ - độ thu hẹp của lòng dẫn.

Công thức (10-23) đúng khi $b/B = 0,935 \div 1,87$; $\theta = 17 \div 46^0$; $Fr_1 = 9 \div 40$. Đối với các điều kiện đó, μ_{pg} thay đổi trong phạm vi 0,25 ÷ 0,37.

---

[1] Sepxencô A. V. "Nghiên cứu chuyển động của nước trên đoạn vào thu hẹp của dốc nước". Tóm tắt luận án phó tiến sĩ KHKT. Kiep, 1968 (Trường đại học đường bộ Kiep); Nước nhảy trong lòng dẫn thu hẹp - Tuyển tập "Thủy lực và kĩ thuật thủy lợi", Kiep, "Kĩ thuật", 1968, N°6.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Sự chuyển tiếp từ trạng thái êm sang xiết xảy ra dưới lưu lượng

$$Q'_{pg} = \mu'_{pg} b\sqrt{2g}\, э_2^{3/2} \qquad (10\text{-}24)$$

trong đó: $э_2$ - năng lượng đơn vị của mặt cắt ở cuối nước nhảy (tại mặt cắt 2-2, hình 10.16);

$$\mu'_{pg} = \varphi' K' \sqrt{1 - \beta' K'} \qquad (10\text{-}25)$$

trong đó:

φ' - hệ số vận tốc của đoạn ra ở trạng thái chảy êm của dòng chảy, $\varphi' = 0{,}95$;

β' - hệ số xét đến ảnh hưởng của độ cong của luồng chảy tại mặt cắt 3-3 đến đại lượng thế năng;

$K' = h_3/э_2$ - chiều sâu tương đối của dòng chảy tại mặt cắt ra 3-3.

Nếu sau đoạn thu hẹp có dốc nước với độ dốc i_o, thì:

$$K' = \frac{1{,}08}{i_o + 1{,}41} = 0{,}15\left(\frac{э_2}{b} - 0{,}20\right) \qquad (10\text{-}26)$$

$$\beta_1 = 0{,}96 - 0{,}51 i_o \qquad (10\text{-}27)$$

Nếu sau đoạn thu hẹp có bậc, thì

$$K' = 0{,}565 + 0{,}22\left(\frac{э_2}{b} - 0{,}20\right) \qquad (10\text{-}28)$$

và $\beta' = 0{,}73$.

Các công thức (10-25), (10-26) và (10-28) được dùng khi $\theta = 22 \div 35^o$; $i_o = 0{,}050 \div 0{,}565$; $э_2/b = 0{,}20 \div 1{,}20$; $l/h_1 = 3 \div 10$.

Trong trạng thái êm của dòng chảy và $э_2/b > 0{,}3$, hệ số lưu lượng của đoạn thu hẹp trước bậc nước hoặc dốc nước có độ dốc $i_o > 0{,}05$ luôn luôn lớn hơn 0,385 và có thể đạt đến 0,48.

Ta viết phương trình cơ bản của nước nhảy trong lòng dẫn thu hẹp dưới dạng không thứ nguyên:

$$(1 + 2\psi_2)\eta^3 + (1 - \psi_2)\eta^2 - (2 + \psi_2 + 6Fr_1)\eta + 6Fr_1/\psi_2 = 0 \qquad (10\text{-}29)$$

trong đó:

$\psi_2 = b_2/B$ - độ thu hẹp của lòng dẫn tại tuyến nước nhảy;

$\eta = h_2/h_1$ - chiều sâu tương đối;

$Fr_1 = \dfrac{Q^2}{gh^2 h_1^3}$ - số Frud tại mặt cắt 1-1.

Khi dùng phương trình (10-29), ta tính sơ bộ độ co hẹp tương đối:

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$\psi_2 = 1 - \frac{2l_n \operatorname{tg}\frac{\theta}{2}}{B} \qquad (10\text{-}30)$$

trong đó: l_n - chiều dài nước nhảy trong lòng dẫn thu hẹp có thể xác định bằng công thức của M. Đ. Tsectôuxôp với hệ số hiệu chỉnh do X. M. Xlixki tìm ra trên cơ sở thí nghiệm của A. V. Sepxencô tiến hành với $Fr_1 = 10 \div 60$; $\theta/2 = 7,5 \div 19,8$ và $B/b = 4 \div 1,9$:

$$l_n = \left(1 + 0,145\sqrt{Fr_1 \operatorname{tg}\frac{\theta}{2}}\right) f h_1 \qquad (10\text{-}31)$$

trong đó: $f = 10,3(Fr_1 - 1)^{0,81}$ có thể tìm trong bảng 9.9.

Công thức trên đã được kiểm tra bằng thí nghiệm với $\theta \le 40$, $Fr_1 = 10 \div 70$, $\vartheta_1/B = 0,21 \div 0,46$.

Tính toán có thể tiến hành cho dòng chảy trong lòng dẫn thu hẹp qua đập tràn, qua lỗ và dưới cửa cống.

Khi $Q < Q_{pg}$ dòng chảy trong lòng dẫn thu hẹp luôn luôn ở trạng thái chảy xiết, khi $Q > Q'_{pg}$ - ở trạng thái chảy êm. Trong phạm vi lưu lượng $Q_{pg} \le Q \le Q'_{pg}$ dòng chảy có thể ở một trong hai trạng thái nói trên.

Lưu lượng Q_{pg} được xác định theo các công thức (10-22) và (10-23), Q'_{pg} - theo các công thức (10-24) và (10-29).

Thí dụ: Tính các trạng thái có thể xảy ra trong lòng dẫn thu hẹp có bậc khi chảy dưới cửa cống hoặc qua lỗ của một ống xả nước có áp. Chiều rộng lòng dẫn ở mặt cắt đầu B = 72,0m, ở mặt cắt cuối b = 35,0m. Góc thu hẹp của lòng dẫn $\theta = 30^0$, đáy của đoạn thu hẹp nằm ngang. Chiều sâu tại mặt cắt co hẹp $h_1 = 1,88$m, $\psi = b/B = 35,0/72,0 = 0,486$.

Giải:

1- Lưu lượng phân giới Q_{pg} ứng với trạng thái phân giới của dòng chảy từ trạng thái xiết sang êm được xác định bằng cách giải phương trình (10-22) và (10-23):

$$Q_{pg} = \mu_{pg} b\sqrt{2g}\ \vartheta_1^{3/2} = \mu_{pg} 35,0.4,43.\vartheta_1^{3/2} = 155,0\mu_{pg}\ \vartheta_1^{3/2}$$

$$\mu_{pg} = 0,366 - 0,016\left(0,2Fr_1 + \frac{\psi - 1}{2\operatorname{tg}\frac{\theta}{2}}\right) = 0,366 - 0,016(0,2Fr_1 - 0,96)$$

$$q = \frac{Q}{B};\quad \vartheta_1 = h_1 + \frac{q^2}{2gh_1^2};\quad Fr_1 = \frac{q^2}{qh_1^3}$$

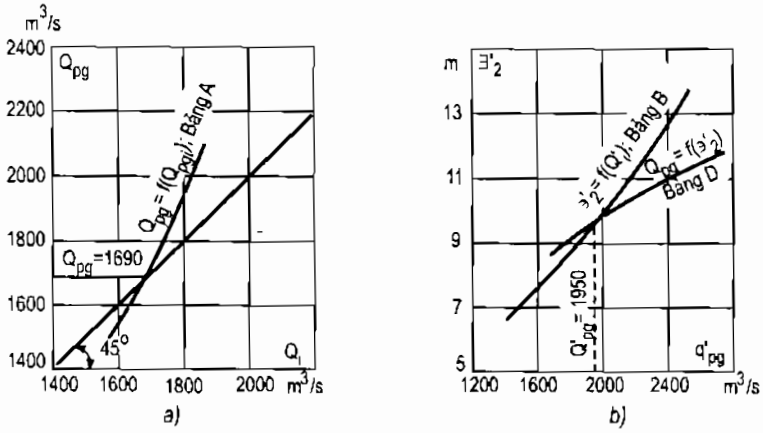
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Sau khi cho các trị số lưu lượng tùy ý Q_i, ta xác định q, $э_1$, Fr_1 và μ_{pg} và tính Q_{pgi}. Ta được trị số cần tìm Q_{pg} với $Q_{pgi} = Q_i$. Tính toán được thực hiện theo bảng A: ta vẽ đồ thị (hình 10.17a) với $Q_{pgi} = Q_i$, ta có $Q_{pg} = 1690$ m^3/s.

Bảng A

Q_i (m^3/s)	$q = \frac{Q_i}{72,0}$ ($m^3/(s.m)$)	$э_1$ (m)	$э_1^{3/2}$	Fr_1	μ_{pgi}	Q_{pgi} (m^3/s)
1600	22,2	9,08	27,36	7,70	0,357	1530
1700	23,6	9,88	30,9	8,45	0,356	1720
1800	25,0	10,88	35,51	9,60	0,351	1940
1850	25,7	11,35	38,23	10,15	0,349	2065



Hình 10.17

2- Lưu lượng phân giới Q'_{pg} ứng với sự chuyển tiếp từ trạng thái êm sang xiết, ta xác định bằng cách giải phương trình (10-24) và (10-29). Đối với các giá trị lưu lượng tùy ý (số Frud) theo (10-31) ta xác định được sơ bộ chiều dài nước nhảy và theo (10-30) ta xác định độ co hẹp tương đối của lòng dẫn ψ_2 ở cuối nước nhảy và chiều rộng của nó $b_2 = \psi_2 B$:

$$l_n = \left(1 + 0,145\sqrt{Fr_1 tg\frac{\theta}{2}}\right) fh_1 = (1 + 0,145\sqrt{0,268Fr_1})\, f.1,88;$$

$$\psi_2 = 1 - \frac{2l_n.0,268}{72,0} = 1 - \frac{0,536l_n}{72}$$

Kết quả tính toán l_n, ψ_2 và b_2 ghi trong bảng B.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng B

Q'_i (m^3/s)	q_i ($m^3/s.m$)	$Fr_1 = \frac{q^2}{gh_1^3}$	f	l_n (m)	ψ_2	b_2 (m)
1440	20,0	6,15	14,0	31,2	0,788	56,8
2000	27,8	11,9	21,0	50,2	0,627	45,2
2520	35,0	18,8	27,3	67,8	0,495	35,6

Theo công thức (10-29), đối với các giá trị ψ_2 và Fr_1 lấy từ bảng B, ta tính $\eta = h_2/h_1$, chiều sâu $h_2 = \eta h_1$ và năng lượng đơn vị của mặt cắt tại tuyến 2-2 ở cuối nước nhảy ($\vartheta_2 = h_2 + \left(\frac{Q}{h_2 b_2}\right)^2 \frac{1}{2g}$. Kết quả tính toán ghi trong bảng C.

Bảng C

Q'_i (m^3/s)	ψ_2	η	h_2 (m)	ϑ_2 (m)
1440	0,768	3,0	5,64	6,72
2000	0,627	4,6	8,64	9,99
2520	0,495	6,44	12,1	13,85

Theo các số liệu của bảng B ta vẽ đường cong $\vartheta_2 = f(Q'_2)$ (hình 10.17b).

Theo công thức (10-24) đối với nhiều giá trị tùy ý ϑ'_2 sau khi xác định K' theo (10-28) và μ'_{pg} - theo (10-25) ta tính được các trị số Q'_{pg}.

Kết quả tính toán ghi vào bảng D.

Bảng D

ϑ'_2 (m)	$\frac{\vartheta'_2}{b}$	K'	μ_{pg}	Q'_{pg} (m^3/s)
9,16	0,262	0,579	0,418	1770
10,0	0,286	0,584	0,420	2060
12,52	0,358	0,620	0,436	3010

Theo các số liệu của bảng D, trên hình 10.17b ta vẽ đường cong $Q'_{pg} = f(\vartheta'_2)$ mà giao điểm của nó với đường cong $\vartheta_2 = f(Q'_i)$ cho ta lưu lượng cần tìm Q'_{pg} ($Q'_{pg} = 1950\ m^3/s$) mà với giá trị này chảy êm chuyển sang chảy xiết.

3- Kết quả tính toán cho ta: khi lưu lượng $Q < Q_{pg} = 1690\ m^3/s$ dòng chảy ở trạng thái chảy xiết, khi $Q > Q'_{pg} = 1950\ m^3/s$ - ở trạng thái êm (nước nhảy ngập), khi $1690 \le Q \le 1950\ m^3/s$ dòng chảy có thể ở trạng thái xiết cũng có thể ở trạng thái êm.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

10.6. NƯỚC NHẢY MẶT TRÊN SÂN TIÊU NĂNG TIÊU NƯỚC NGHIÊNG

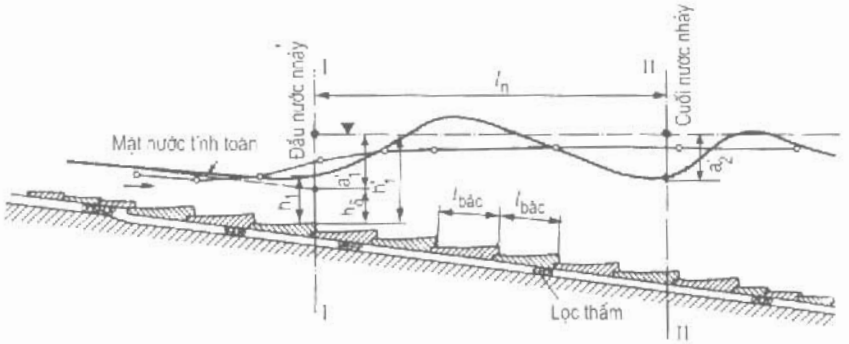
Trên sân tiêu năng tiêu nước nhiều bậc nghiêng với độ dốc 1 : 5 - 1 : 12 sẽ hình thành một trạng thái mặt ổn định có nước nhảy ngập[1]. Sân tiêu năng nhiều bậc (hình 10.18), có mặt thoáng nằm ngang hoặc độ dốc ngược. Các lỗ tiêu nước dưới dạng các khe hở được bố trí dọc dòng chảy chiếm khoảng 3 - 5% diện tích từng bậc.

Khi độ dốc ngược của các bậc i = 0,05 ÷ 0,08, chiều cao nước nhảy

$$a_1' = (0,6Fr^{2/3} - 0,03Fr + 0,2)h_b \qquad (10\text{-}32)$$

Chiều dài nước nhảy (khoảng cách từ mặt cắt đầu nước nhảy đến chỗ lõm thứ nhất của mặt thoáng) bằng:

$$l_n = (7,3 - 0,04Fr^{3/2})a_1' \qquad (10\text{-}33)$$



—— mặt thoáng của dòng chảy; —o— đường đo áp của đường biên phía dưới của thiết bị lọc

Hình 10.18

Khi bậc nằm ngang (i = 0)

$$a_1' = (0,6Fr^{2/3} - 0,05Fr + 0,2)h_b \qquad (10\text{-}34)$$

$$l_n = (7,8 - 0,03Fr^{3/2})a_1' \qquad (10\text{-}35)$$

Trong các công thức này:

$$Fr = \frac{\alpha v_h^2}{g h_h \cos\theta} \qquad (10\text{-}36)$$

trong đó:

v_h, h_h - vận tốc trung bình và chiều sâu tính toán của dòng chảy trên dốc nước tại tuyến đầu của nước nhảy;

α - hệ số Kôriôlit của tuyến đầu của nước nhảy;

θ - góc nghiêng của đáy.

---

[1] Gordiencô P. I. Đập và các công trình xả nước - "Công trình MIXI", 1970, quyển 2, N° 61.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Các công thức được dùng khi Fr = 3 ÷ 15, tgθ = 1 ÷ 8; các tỉ số giữa chiều dài nước nhảy và chiều dài bậc $l_n/l_{bậc} = 2 \div 8$.

Độ chênh mực nước ở hạ lưu so với bậc sân tiêu năng tại tuyến đầu tiên gồm $h_l' = h_h + a_1'$. Chiều sâu dòng chảy tại mặt cắt đầu của nước nhảy

$$h_l = (1{,}08 \div 1{,}24)h_h \qquad (10\text{-}37)$$

Khi thay đổi lưu lượng và mực nước hạ lưu, trạng thái mặt được giữ nguyên, nhưng vị trí mặt cắt đầu tiên thay đổi.

Độ chênh mực nước ở hạ lưu so với mặt thoáng ở cuối nước nhảy (chỗ lõm của sóng) bằng khoảng:

$$a_2' = i_o l_n \qquad (10\text{-}38)$$

trong đó: i_o - độ dốc đáy của sân tiêu năng.

Khi Fr ≥ 5, các sóng kế theo sóng thứ nhất sẽ tắt trên chiều dài $(1 \div 1{,}5)l_n$.

B. DỐC NƯỚC. BẬC NƯỚC CÓ NHIỀU BẬC

Dốc nước là những kênh và máng hở, dẫn nước từ thượng lưu xuống hạ lưu theo một lòng dẫn cứng có độ dốc lớn hơn độ dốc phân giới.

Phần vào (đầu) của dốc nước là lòng dẫn ngắn có chiều rộng thay đổi, dẫn nước vào phần chính của dốc nước. Phần ra của dốc nước thường được xây dựng dưới dạng miệng loa, dẫn nước vào giếng tiêu năng. Hình dạng của miệng loa bảo đảm sự mở rộng không tách dòng, có thể xác định theo hình 10.10 và 10.14. Khi góc mở rộng của thành bên của miệng loa lớn hơn góc mở rộng tự do, thì để bảo đảm sự mở rộng không tách dòng, người ta dùng các cánh mở rộng khác nhau (khi vận tốc dòng chảy lớn, chúng có thể chịu tác động xâm thực).

10.7. DỐC NƯỚC CÓ CHIỀU RỘNG KHÔNG ĐỔI

Tùy theo chiều sâu ở mặt cắt đầu, trên dốc nước sẽ hình thành đường nước hạ hoặc đường nước dâng (hình 10.19).

Để vẽ đường mặt nước, ta dùng phương trình của chuyển động không đều (9-20).

Tại những chỗ địa hình bị lõm nhiều, mặt cắt dọc của dốc nước có thể xây dựng dưới dạng parabôn có các tọa độ (hình 10.20):

$$x = 0{,}45v\sqrt{y} \ \text{(m)} \qquad (10\text{-}39)$$

trong đó: v - vận tốc trung bình tại mặt cắt ở trước đoạn cong (m/s).

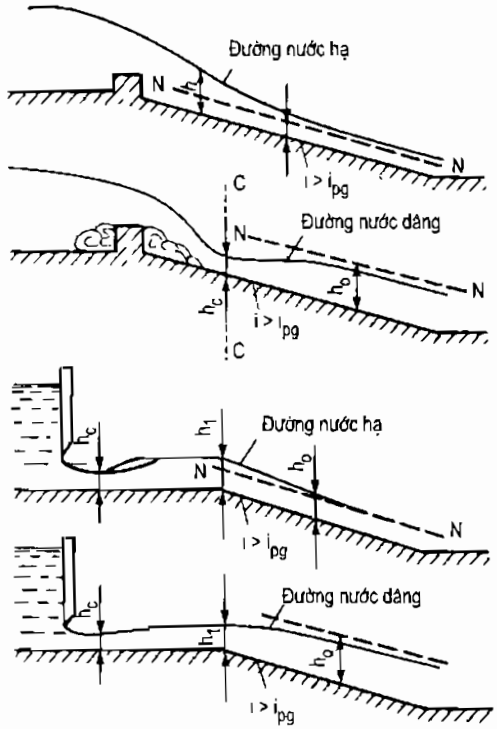
Khi dốc nước cong trong mặt bằng, cần phải xét đến động lực của dòng xiết hai chiều[1].

---

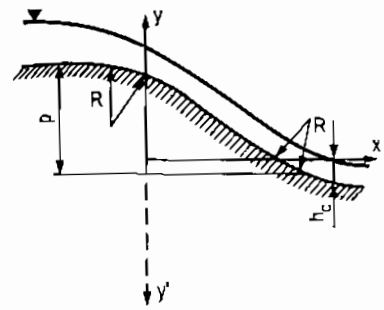
[1] Chow V. T. Thủy lực của kênh hở, NXBXD, 1969, trang 314. Emxep B. T. Dòng xiết hai chiều, NXB "Năng lượng", 1967.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 10.19



Hình 10.20

Trong lần gần đúng thứ nhất, việc tính toán dốc nước cong theo cung tròn có chiều rộng cố định cũng được tiến hành bằng các công thức như đối với dốc nước thẳng. Độ dốc ngang của mặt thoáng của dòng chảy trên dốc nước như vậy với chiều rộng dưới 3m (hình 10.21a) có thể lấy bằng:

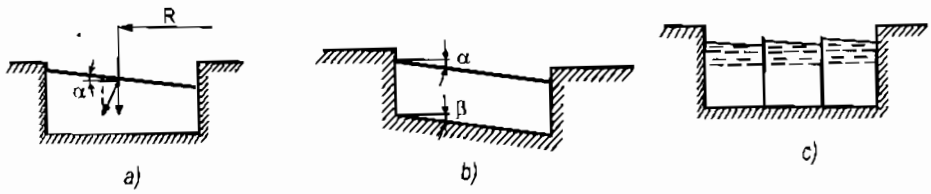
$$tg\alpha = v^2 / gR \qquad (10\text{-}40)$$

trong đó:

v - vận tốc trung bình của nước tại chỗ ngoặt;

R - bán kính cong theo trục.

Đáy của dốc nước rộng làm nghiêng theo phương ngang (hình 10.21b) hoặc chia chúng ra thành nhiều ngăn bằng các thành dọc (hình 10.21c).



Hình 10.21

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

10.8. DỐC NƯỚC CÓ CHIỀU RỘNG THAY ĐỔI

Khi tính toán dốc nước có mặt cắt thay đổi, phải giải quyết một trong các bài toán sau đây:

1. Với hình dạng và các thông số lòng dẫn đã cho, vẽ đường mặt thoáng.

2. Với các thông số thủy lực đã cho của dòng chảy, xác định các đặc trưng thủy lực của lòng dẫn (bài toán ngược).

Cần chú ý là ở dòng chảy xiết, trong lòng dẫn với các tường gãy khúc hoặc cong có thể hình thành các sóng xiên kích động phản xạ từ tường. Để tính toán các thông số của sóng (nước nhảy xiên) hoặc bình diện không sóng của lòng dẫn, ta dùng lý thuyết dòng xiết hai chiều[1]. Ở lần gần đúng thứ nhất, không xét đến khả năng hình thành sóng kích động, tính toán có thể tiến hành theo phương trình (9-36) bằng cách chia dòng chảy theo chiều dài thành nhiều đoạn. Vì sự thay đổi của mặt cắt ngang xảy ra ở phần đầu của đốc nước sẽ lớn hơn, nên khoảng cách giữa các mặt cắt tính toán ở đầu dốc nước nên lấy không lớn, rồi tăng dần khoảng cách đó đối với các đoạn ở phía dưới.

Đối với dốc nước có chiều sâu cố định, tính toán nên tiến hành theo công thức của V. Đ. Jurin:

$$\Delta s = \left(\frac{\alpha C^2}{g\chi}\right)_{tb} \frac{b_1 - b_2}{\eta_1 - \eta_2}\left[\varphi(\eta_2) - \varphi(\eta_1)\right] \qquad (10\text{-}41)$$

trong đó:

$\eta = K/K_o$ - tỉ số các đặc trưng lưu lượng của mặt cắt đang xét và của các đặc trưng ở chuyển động đều: $K = \omega C\sqrt{R}$; $K_o = Q/\sqrt{i}$.

$\varphi(\eta)$ - hàm số được xác định theo bảng để vẽ đường cong nước dâng và nước hạ với số mũ thủy lực x = 2,0 (bảng 9.3)

Khi đã cho quy luật tuyến tính về sự thay đổi chiều sâu trên đốc nước (lấy thẳng góc với đáy), thì:

$$h(s) = as + h_c$$

trong đó: $a = \dfrac{h_1 - h_o}{L}$;

h_1, h_c và L - các chiều sâu ở mặt cắt ban đầu và cuối của dốc nước và chiều dài của nó.

Diện tích mặt cắt ω trên khoảng cách tùy ý s kể từ đầu dốc nước có thể xác định từ phương trình do Emxep B. T. đề nghị[1]:

---

[1] Emxep B. T. Tính toán đường dẫn không áp theo sự thay đổi của các thông số thủy lực đã cho trước - "Xây dựng kĩ thuật thủy lợi", 1963, N°3.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$\omega = \frac{\omega_1 e^{\bar{\sigma}s}}{\sqrt{1 + \frac{pg}{\bar{\sigma}v_1^2}\left[e^{2\bar{\sigma}s} - 1\right]}} \qquad (10\text{-}42)$$

trong đó dùng các kí hiệu sau: $p \doteq i - a\sqrt{1 - i^2}$;

$$\bar{\sigma} = \frac{g}{\alpha \bar{C}^2 \bar{R}}$$

Ở đây:

$\bar{\sigma}$ - giá trị trung bình của thông số này trên đoạn s ứng với các giá trị trung bình của hệ số Sêzi $\bar{C}$ và bán kính thủy lực $\bar{R}$ lấy cho đoạn đó;

v_1 và ω_1 - lần lượt là vận tốc trung bình và diện tích mặt cắt ướt tại tuyến đầu của dốc nước;

α - hệ số động năng.

Khi đã cho sự thay đổi tuyến tính của cột nước vận tốc thì $v^2/2g = ms + k$, trong đó $m = \frac{v_c^2 - v_1^2}{2g}$; $k = \frac{v_1^2}{2g}$.

Chiều sâu dòng chảy trên khoảng cách tùy ý s kể từ đầu dốc nước được xác định theo công thức sau đây của B. T. Emxep:

$$h\cos\mu = h_1\cos\mu + (i - m - 2\bar{\sigma}k)s - \bar{\sigma}ms^2 \qquad (10\text{-}43)$$

trong đó: μ - góc nghiêng giữa đáy dốc nước và đường nằm ngang.

Sau khi biết chiều sâu h và vận tốc $v = \sqrt{2g(ms + k)}$, ta xác định được diện tích của mặt cắt ướt ω_i và do đó cả chiều rộng cần tìm của dốc nước.

Khi vận tốc cố định, việc tính toán tiến hành theo phương trình (10-43), lấy m = 0.

Trong lòng dẫn có vận tốc cố định, mặt thoáng luôn luôn là đường thẳng.

Thí dụ: Vẽ bình đồ dốc nước của mặt cắt hình thang có mặt bêtông nhẵn kĩ thuật. Lưu lượng Q = 5,6 m^3/s; chiều sâu cố định h = 0,8m; độ dốc i = 0,143, hệ số mái dốc m = 1,0; hệ số nhám n = 0,017 và chiều rộng đáy tại mặt cắt đầu b = 1,6m.

Giải:

Ta tìm $K_o = Q/\sqrt{i} = 5,6/\sqrt{0,143} = 14,8$ m^3/s. Tiếp theo, để vẽ bình đồ dốc nước, ta xét các chiều rộng đáy của một số mặt cắt và tính các khoảng cách giữa các mặt tính toán theo công thức (10-41) (bảng A). Theo số liệu của các cột thứ nhất và cột cuối cùng của bảng ta vẽ bình đồ dốc nước.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng A

Chiều rộng đáy b_i (m)	χ (m)	C^2	$-\frac{\alpha C^2}{g\chi}$	$\left[\frac{\alpha C^2}{g\chi}\right]_{tb}$	K (m^3/s)	$\eta = \frac{K}{K_o}$
1,6	3,86	2740	78,8		71,0	4,80
1,4	3,66	2710	82,1	80,4	63,5	4,28
1,2	3,46	2680	86,1	84,0	56,0	3,78
1,0	3,26	2640	90,0	88,0	49,1	3,31
0,8	3,06	2600	94,2	92,1	42,0	2,84
0,6	2,86	2540	98,5	96,3	35,2	2,38
0,4	2,66	2470	103,0	100,7	28,6	1,89

$b_i - b_{i+1}$ (m)	$\eta_i = \eta_{i+1}$	$\varphi(\eta_i)$	$\varphi(\eta_i) - (\eta_{i+1})$	$\Delta s = s_i - s_{i+1}$ (m)	s_i (m)
		0,2122			0,0
0,20	0,525	0,2382	0,026	0,80	0,80
0,20	0,505	0,2722	0,034	1,14	1,94
0,20	0,415	0,3138	0,0416	1,79	3,73
0,20	0,475	0,3684	0,0546	2,12	5,85
0,20	0,465	0,4484	0,0800	3,30	9,15
0,20	0,495	0,5900	0,1416	6,23	15,38

Ghi chú: Các giá trị bằng số của C và K lấy từ ví dụ trong quyển "Giáo trình thủy lực chuyên đề" của Tsectôuxôp M. Đ. NXBNL, 1962.

10.9. DỐC NƯỚC CÓ ĐỘ NHÁM GIA CƯỜNG

Để giảm và ổn định vận tốc trên dốc nước, người ta dùng nhám nhân tạo. Ta phân biệt hai dạng cơ bản của dòng chảy trên dốc nước có nhám nhân tạo: chảy trên bậc, ở đó nước tràn qua mô-gờ như qua đập tràn với sự hình thành nước nhảy giữa các mố; và chảy trên dốc, ở đó giữa các mố hình thành các xoáy đáy, luồng chảy chuyển động trên đỉnh các mố và trên lớp xoáy đáy. P. T. Goocdiencô còn đề xuất dạng chuyển tiếp là luồng chảy xiết dạng sóng giữa các mố nhám tiếp xúc với đáy lòng dẫn (không hình thành nước nhảy); trước và sau mỗi mố hình thành các khu nước quay đáy.

Để chọn loại và kích thước các mố nhám có các đề nghị của các tác giả khác nhau. Dưới đây trình bày các phương pháp tính toán của E. A. Damarin[1] và P. I. Goocdiencô[2].

---

[1] Damarin E. A. và các người khác. Giáo trình thủy công, NXBNN, 1940; Kixelốp P. G. Cẩm nang tính toán thủy lực, NXBNL, 1961, trang 216.

[2] Goocdiencô P. I. "Công trình của hội nghị phối hợp về kĩ thuật thủy lợi", "Năng lượng". 1969, quyển 52.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Nếu đặc trưng độ nhám của lòng dẫn bằng đại lượng 1/C, thì theo Damarin 1/C = k được gọi là độ nhám riêng và 1/C phụ thuộc vào độ dốc của dốc nước và chiều sâu tương đối của dòng chảy, còn theo Goocdiencô 1/C = n, trong đó n - hệ số nhám được xác định theo thang riêng và khi đó dòng chảy trên dốc không còn phụ thuộc vào chiều sâu tương đối của dòng chảy, còn khi đã cho vận tốc thì cũng không phụ thuộc cả vào độ dốc của đốc nước.

a) Tính toán nhám gia cường theo E. A. Zamarin

Độ nhám riêng k = f(α, β) được xác định theo các công thức thực nghiệm viết cho từng loại nhám. Ở đây α = h/Δ; β = b/h; h - chiều sâu mực nước trên mố nhám; Δ - chiều cao mố nhám; b - chiều rộng dốc nước chữ nhật.

Để làm ví dụ, dưới đây sẽ trình bày công thức để tính độ nhám dưới dạng các thanh ngang chữ nhật, đặt ở đáy của đốc nước có các thành bên trơn và có độ dốc i = 15%:

$$1000k = 47,5 - 1,2\alpha + 0,1\beta$$

(khi $8 \geq \alpha \geq 3$; $1 \leq \beta \leq 12$ và khoảng cách tối ưu giữa các thanh $l = 8\Delta$).

Đối với các dạng khác của nhám nhân tạo ta cũng có các biểu thức tương tự. Khi i ≠ 15%, giá trị k được nhân với hệ số hiệu chỉnh: khi i = 4% nhân với 0,9, khi i = 10% nhân với 1,06.

Trình tự tính toán:

Theo lưu lượng đã cho Q, chiều rộng máng b và vận tốc tính toán cho phép v, ta xác định chiều sâu $h = \frac{Q}{vb}$ và $\beta = \frac{b}{h}$.

Sau đó xác định giá trị cần thiết của hệ số $k = \frac{1}{C} = \frac{\sqrt{Ri}}{v}$ và cuối cùng, khi đã biết k và β = b/h, ta tìm Δ từ công thức k = f(α, β).

b) Tính toán nhám nhân tạo theo P. I. Goocdiencô

P. I. Goocdiencô cho rằng, chảy trên dốc là loại dòng chảy ổn định nhất và đề nghị thiết kế dốc nước có nhám gia cường sao cho dòng chảy giữ được đặc tính chảy trên dốc trong một phạm vi thay đổi chiều sâu tương đối lớn, bắt đầu từ chiều sâu bé nhất. Dạng chảy trên dốc được đặc trưng bằng dòng chảy trên mố nhám và trên lớp xoáy đáy có thể xem là chuyển động đều.

Ở đây tính toán được tiến hành theo công thức Sêzi $v = \sqrt{Ri}$, nhưng hệ số Sêzi C được xác định theo công thức $C = \frac{1}{n}a^m$, trong đó n - hệ số nhám lấy theo thang

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

của Goocđiencô và không trùng với thang dùng để xác định C theo các công thức của Pavlôpxki, Maninh và các tác giả khác; chỉ số mũ đối với dạng chảy trên dốc bằng không; còn đối với các dạng chảy khác thì $m > 0$; $\alpha = h_1/\Delta$ - tỉ số giữa chiều sâu tính toán và chiều cao mố nhám Δ. Đối với nhám ở dạng gờ ngang, chiều sâu tính toán là chiều sâu h_1 - h. Đối với trường hợp bậc mặt cắt chữ nhật theo dòng chảy, thì chiều sâu tính toán là chiều sâu tính từ gờ thấp của bậc; đối với khối hình hộp bố trí theo hình bàn cờ, thì khi $l/\Delta > \sqrt{2}$, $h_1 = h + \Delta - 2\Delta^3/l^2$; đối với đá dăm đặt sít nhau thì $h_1 = h + 0{,}13d$. Đối với dạng chảy trên dốc, tỉ số α phải lớn hơn trị số α_o ghi trong bảng 10.2. Ở đây cũng ghi các giá trị C.

Bảng 10.2. Các giá trị C và α_o đối với chảy trên dốc khi $\beta = b/h \geq 3$ (theo P. I. Goocđiencô)

Loại nhám đáy	l/Δ	α_o	C
Gờ ngang:			
mặt cắt vuông	10	3,3	18,5
mặt cắt vuông	5	2,5	21,1
mặt cắt chữ nhật $\Delta \times 2{,}7\Delta$	7,7	–	17,0
mặt cắt chữ nhật $\Delta \times 2{,}7\Delta$	3,7	2,4	40,3
Bậc các mặt cắt chữ nhật, đặt sít nhau	8	1,2	29,5
	6	1,5	22,7
	4	1,1	23,0
Khối hình hộp bố trí theo hình bàn cờ	4,5	3,8	29,6
	1,5	3,0	24,2
Đá dăm	–	2,4	21,4

Thí dụ: Cho lưu lượng $Q = 18{,}5\ m^3/s$; chiều rộng dốc nước b = 4,6m; độ dốc đáy i = 0,115 và vận tốc cho phép lớn nhất $v_{max} = 6{,}0$ m/s. Xác định hình dạng và kích thước nhám nhân tạo sao cho trong các điều kiện của dạng chảy trên dốc, vận tốc trung bình của dòng chảy không lớn hơn giá trị đã cho.

Giải:

1- Chiều sâu dòng chảy: $$h = \frac{Q}{bv_{max}} = \frac{18{,}5}{4{,}6.6{,}0} = 0{,}67m$$

2- Trị số của hệ số Sêzi $$C = \frac{v}{\sqrt{hi}} = \frac{6{,}0}{\sqrt{0{,}67.0{,}115}} = 21{,}6$$

Sau đó tiếp tục tính toán theo P. I. Goocđiencô.

3- Theo bảng 10.2, ta có trị số C = 21,6 ứng với độ nhám dạng các gờ ngang của mặt cắt hình vuông khi $\alpha_o = h/\Delta = 2{,}5$ và $l/\Delta = 5$.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

4- Chiều cao mố $\Delta = h/\alpha_0 \leq 0,67/2,5 = 0,27m$.

Để bảo đảm $\alpha > \alpha_0$ và trạng thái chảy trên dốc nước giữ được trong phạm vi rộng của sự thay đổi chiều sâu, ta lấy $\Delta = 10cm$.

5- Khoảng cách giữa các mố $l = 5\Delta = 50cm$.

Ghi chú: Khi tính toán chiều cao mố theo E. A. Zamarin, ta được chiều cao mố là 0.45m. Trong đó $h/\Delta = 0,67/0,45 = 1,5$, tức là bé hơn $\alpha_0 = 2,5$. Điều đó có nghĩa là từ các số liệu của P. T. Goocdiencô, khi $\Delta = 0,45cm$ ta sẽ có dạng chảy trên bậc hoặc dạng chảy chuyển tiếp chứ không phải chảy trên dốc.

10.10. SỰ MẤT ỔN ĐỊNH VÀ SỰ HÀM KHÍ CỦA DÒNG CHẢY TRÊN DỐC NƯỚC

Sự mất ổn định của dòng chảy trên dốc nước được thể hiện bằng sự xuất hiện các sóng lăn. Các sóng được hình thành ở đầu dốc nước sẽ đuổi theo nhau, nhập lại và lớn lên, và khi chiều dài dốc nước đủ lớn thì hình dạng của chúng sẽ không đổi. Tại các mặt cắt dưới đỉnh sóng, vận tốc trung bình và lưu lượng sẽ lớn nhất, còn ở đuôi sóng nhỏ nhất. Sóng có tác dụng động lực lên lớp áo, bắn tung tóe trong giếng tiêu năng ở hạ lưu và gây nên trạng thái không ổn định trong kênh dẫn ra.

Để đánh giá tính không ổn định của dòng chảy đều trên dốc nước, có thể dùng tiêu chuẩn của T. G. Vôinhich - Xianôjenxki[1]. Dòng chảy trên dốc nước sẽ ổn định khi:

$$\frac{1}{Fr} > \left(\frac{x\omega}{2Bh}\right)^2 - 2(2\alpha_0 - 1)\frac{x\omega}{2Bh} + 2\alpha_0 - 1 \qquad (10\text{-}44).$$

trong đó:

Fr, ω, B, h - số Frud, diện tích mặt cắt ướt, chiều rộng mặt thoáng và chiều sâu dòng chảy trên dốc nước ở trước khu vực hình thành sóng;

x - số mũ thủy lực theo B. A. Bakhmêchep;

α_0 - hệ số động lượng, được xác định theo công thức của A. X. Ôbrazôpxki:

$$\alpha_0 = \frac{(1+k_1)^2(1+k_2)^2}{(1+2k_1)(1+2k_2)} \qquad (10\text{-}45)$$

trong đó: $k_1 = \sqrt{g}/\kappa C$ và $k_2 = 2k_1(1 - b/\kappa)$;

C - hệ số Sêzi theo công thức của N. N. Pavlôpxki;

---

[1] Vôinhich - Xianôjenxki T. G. Fêđôrôp E. P. - "Công trình của hội nghị phối hợp về kĩ thuật thủy lợi", 1963, quyển VII, trang 266, 279.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

κ = 0,36 - hằng số Cacman;

b - chu vi ướt của lòng dẫn và chiều rộng đáy kênh.

Đối với dốc nước không có sóng α_o = 1,037 ÷ 1,15, đối với dốc nước trên đó xuất hiện chuyển động sóng α_o = 1,01 ÷ 1,039. Khi tăng α_o, vế phải của đẳng thức (10-44) sẽ giảm nhanh, vì vậy trong tính toán sơ bộ nên dùng các giá trị bé của α_o.

Khi tăng vận tốc của dòng chảy, xảy ra dòng hàm khí và do đó chiều sâu dòng chảy trên dốc nước tăng lên. Độ bão hòa khí của dòng hàm khí có thể xác định bằng công thức của N.B. Ixatsencô[1]:

$$\alpha = \frac{W_{kk}}{W_n} = \left(0,035 + 0,83\frac{\Delta}{R}\right) \times \sqrt{Fr - 45\left(1 - \frac{\Delta}{R}\right)^{14}} \qquad (10\text{-}46)$$

trong đó:

W_{kk}/W_n - tỉ số giữa thể tích không khí và thể tích của nước trong dòng chảy;

Δ/R - độ nhám tương đối của lòng dốc nước;

$Fr = v^2/gR$ - số Frud tính theo bán kính thủy lực của dòng chảy không xét đến không khí.

Khi lòng dốc nước bằng bêtông có độ nhám bé, Δ/R = 0,02 ÷ 0,04; khi độ nhám tự nhiên có giá trị cao hơn thì Δ/R = 0,05 ÷ 0,1.

Khi số Râynôn có giá trị phân giới để dòng chảy bắt đầu hàm khí thì:

$$Fr_{pg} = 45(1 - \Delta/R)^{14}$$

Khi đã biết chiều sâu h của dòng hàm khí, thì có thể lấy chiều sâu dòng chảy có chứa không khí bằng:

$$h_{hk} = (1 + \alpha)h \qquad (10\text{-}47)$$

10.11. NỐI TIẾP THƯỢNG - HẠ LƯU SAU DỐC NƯỚC

Trên tuyến của dốc nước hoặc tại phần vào của nó có thể xây dựng giếng tiêu năng không có bậc (hình 10.22a) hoặc có bậc tại chỗ vào (hình 10.22b). Chiều sâu của giếng trong cả hai trường hợp được xác định theo công thức:

$$d = h_2 - t - z \qquad (10\text{-}48)$$

hoặc bỏ qua độ chênh z: $$d = h_2 - t \qquad (10\text{-}48')$$

Để tính toán sơ bộ, chiều sâu tại mặt cắt co hẹp có thể lấy bằng chiều sâu h_o trên dốc nước.

Chiều sâu mực nước trong giếng h_2, cũng giống các trường hợp xây dựng giếng tiêu năng khác, lấy từ 5 ÷ 10% lớn hơn chiều sâu nối tiếp là chiều sâu được tính theo công thức (9-46) hoặc (9-46').

---

[1] Ixatsencô N. B. "Thông báo VNHIIK", 1961, tập 68.

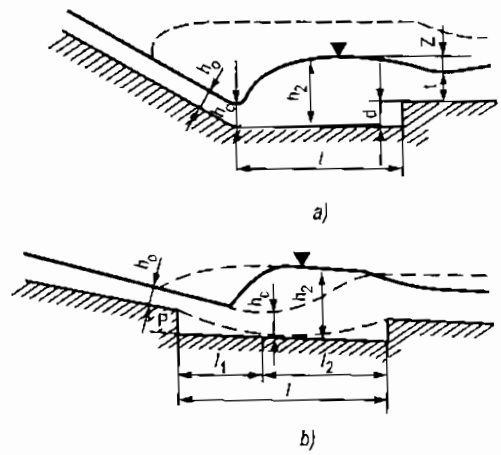
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Chiều dài của giếng l (hình 10.22) lấy bằng 0,8 chiều dài nước nhảy l_n. Khi có bậc, $l = l_1 + 0{,}8l_n$, trong đó l_1 - độ bay xa của luồng chảy. Khi các độ dốc của dốc nước trước giếng $i < t/10$, vận tốc v tại chỗ bậc vào giếng có thể xem là có phương nằm ngang. Lúc đó:

$$l_1 = v\sqrt{\frac{2y}{g}} \qquad (10\text{-}49)$$

trong đó: $y = p + h_o/2$.



Hình 10.22

Nếu chiều sâu mực nước sau dốc nước $t > h_2 - d$, thì nước nhảy nằm trên dốc nước. Nước nhảy cũng có thể xảy ra trên dốc nước, nếu không có giếng tiêu năng. Vị trí của nước nhảy trên dốc nước, chiều cao của nó có thể tính theo các công thức trong mục 10.1.

Sau dốc nước có thể có trạng thái chảy mặt. Điều đó đạt được bằng cách làm bậc có độ sâu cần thiết hoặc đáy tiêu nước (mục 10.6). Cũng có thể làm mũi phun tại cuối dốc nước để hất nước ra xa khỏi khu vực công trình (xem mục 10.20) hoặc dùng mũi phun chia dòng[1] để loại trừ khả năng xói ngầm công trình. Trong một số trường hợp nên tận dụng tính chất phân đều của dòng xiết, không cần làm các vật chia dòng (xem mục 10.3).

10.12. BẬC NƯỚC NHIỀU BẬC

Số lượng bậc và trị số độ chênh của mỗi bậc được xác định theo đại lượng độ chênh tổng cộng và tính chất của mặt cắt dọc địa hình. Các giếng sau mỗi bậc được tính toán riêng.

Với n bậc có chiều sâu bằng nhau, độ chênh mỗi bậc bằng:

$$z_1 = (z - z')/n \qquad (10\text{-}50)$$

trong đó:

z - độ chênh tổng cộng;

z' - hiệu giữa mực nước của mặt thoáng ở giếng tiêu năng hạ lưu và ở đầu kênh dẫn. Nếu $z' \approx 0$ thì $z_1 \approx z/n$.

---

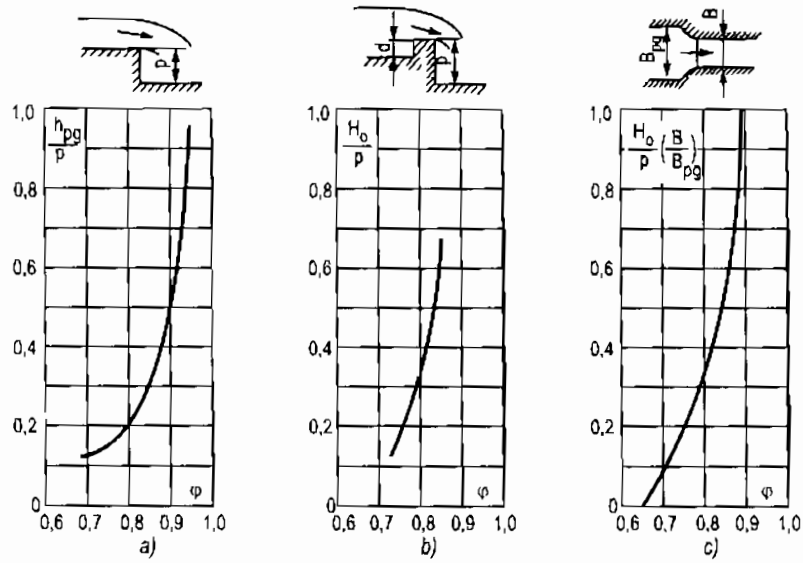
[1] Tuaxunôp A. A. - Thông báo VNHIIK", 1969, tập 69. Vurxôxki L. I. Cơ sở lí thuyết điều khiển dòng xiết. Trường tổng hợp quốc gia Xaratôp xuất bản, 1968.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Các bậc nước có chiều rộng lớn đôi khi được phân ra bằng các tường dọc, có nhiệm vụ khử các dòng xiên, khoảng cách giữa các tường lấy từ 2 ÷ 4m.

Khi tính toán chiều sâu trên bậc tại mặt cắt co hẹp, hệ số vận tốc có thể tìm theo các đồ thị hình 10.23[1] (khi có không khí dưới các luồng chảy; a, b - không có co hẹp bên; c - có co hẹp bên).



Hình 10.23

Thí dụ: Tính bậc nước mặt cắt chữ nhật có chiều rộng cố định b = 4,0m, lưu lượng Q = 14 m^3/s. Kênh trước bậc nước là kênh hình thang, chiều rộng trung bình B_{pg} = 6,0m; chiều sâu chảy đều h_o = 1,66m; vận tốc trung bình $v_o = \frac{14}{6.1,66} = 1,4$ m/s; $\frac{v_o^2}{2g} = 0,1$m; $H_o = 1,76$m. Các cao trình đáy của đoạn kênh trên và dưới bằng 20,0 và 10,0m (hình 10.24). Chiều rộng lỗ vào chữ nhật của bậc nước bằng chiều rộng của bậc nước là b = 4,0m. Lưu lượng đơn vị q = 14,0/4,0 = 3,5 $m^3/s.m$.

Giải:

1- Lấy số bậc n = 4 và sơ bộ chọn chiều sâu giếng d = 0,75m. Với chiều sâu này, chiều cao mỗi bậc sẽ bằng:

$$p = \frac{20,0 - 10,0}{4} + 0,75 = 3,25\text{m}$$

---

[1] Alechxeep Iu. X. Một số vấn đề thủy lực của bậc nước trong lòng dẫn mặt cắt chữ nhật. Tóm tắt luận án phó tiến sĩ KHKT, 1967 (Trường đại học Xây dựng Ôđexa).

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

2- Bậc thứ nhất. Chiều sâu h_{c1}, tại mặt cắt co hẹp trên đáy giếng được xác định bằng công thức:

$$\frac{q^2}{2g\varphi^2} = h_c^2(p + H_o - h_c)$$

trong đó: hệ số vận tốc $\varphi = 0,77$ được xác định theo đồ thị trên hình 10.23c khi:

$$\frac{H_o}{p}\left(\frac{b}{B_{pg}}\right)^2 = \frac{1,76}{3,25}\left(\frac{4,0}{6,0}\right)^2 = 0,24;\ \varphi = 0,77;$$

$$h_c = \frac{q}{\varphi\sqrt{2g(p + H_o - h_c)}} = \frac{3,5}{0,77\sqrt{19,62(3,25 + 1,76 - h_c)}} = 0,483m$$

Chiều sâu nối tiếp:

$$h_c'' = 0,5h_c\left[\sqrt{1 + \frac{8}{gh_c}\left(\frac{q}{h_c}\right)^2} - 1\right] =$$

$$= 0,5.0,483\left[\sqrt{1 + \frac{8}{9,81.0,483}\left(\frac{3,5}{0,483}\right)^2} - 1\right] = 2,03m$$

Cột nước trên đỉnh đập tràn (tại cuối bậc):

$$H_o = \left(\frac{q}{M}\right)^{2/3} = \left(\frac{3,5}{1,86}\right)^{2/3} = 1,52m$$

Ở đây hệ số lưu lượng M = 1,86 lấy như đối với đập tràn đỉnh nhọn. Chiều sâu mực nước trên ngưỡng của giếng thứ nhất.

$$H = H_o - \frac{v^2}{2g} = 1,52 - \frac{1}{19,62}\left(\frac{3,5}{2,03}\right)^2 = 1,52 - 0,15 = 1,37m$$

Chiều sâu của giếng (chiều cao ngưỡng thứ nhất):

$$d = h_c'' - H = 2,03 - 1,37 = 0,66m$$

tức là bé hơn chiều sâu giếng lấy lúc đầu một ít.

Ta lấy có thêm phần dự trữ $d_1 = 0,75m$. Chiều sâu mực nước trong giếng là:

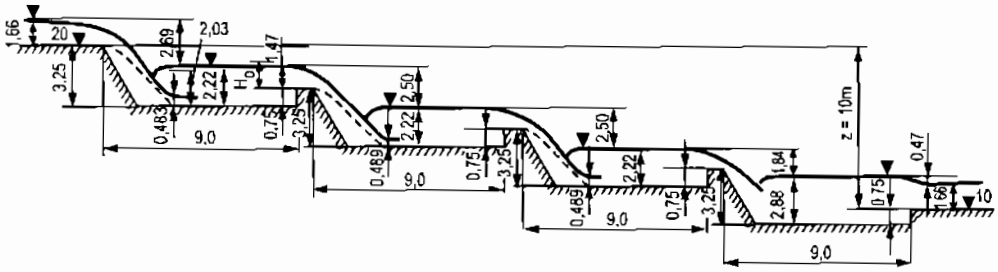
$$t = d_1 + H = 0,75 + 1,37 = 2,12m$$

Hệ số dự trữ đối với chiều sâu giếng

$$\frac{t}{h_c''} = \frac{2,12}{2,03} = 1,04$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



***Hình 10.24**: Sơ đồ bậc nước nhiều bậc*

3- Bậc thứ hai và các bậc tiếp theo. Ở đây cũng có H_o = 1,52m. Theo đồ thị hình 10.23b, khi H_o/p = 1,52/3,25 = 0,46 ta có φ = 0,82. Tương tự như trên ta tìm h_c = 0,489m; h''_c = 2,04m; d = 0,66m (đối với bậc thứ hai). Ta lấy d_2 = 0,75m; t = 2,12m.

Vận tốc trung bình trên ngưỡng v = q/H = 3,5/1,37 = 2,56m/s.

Ta xác định chiều dài của bậc bằng cách cộng các độ bay xa của luồng chảy và 0,8 chiều dài nước nhảy [công thức (10-49) và thí dụ (9.53)].

$$l_g = v\sqrt{\frac{2y}{g}} + 0,8.2,5(1,9h''_c - h_c) =$$

$$= 2,48\sqrt{\frac{2}{9,81}\left(3,2 + \frac{1,47}{2}\right)} + 0,8.2,5(1,9.2,04 - 0,49) =$$

$$= 2,21 + 6,78 = 8,99m$$

Ta lấy l_g = 9m.

4- Bậc cuối cùng (giếng tiêu năng dưới) giếng được xây dựng dưới dạng miệng loa mở rộng trong mặt bằng từ chiều rộng b = 4,0m đến B = 8,0m. Ta xác định độ chênh z tại mặt ra của giếng với chiều sâu trong kênh dẫn h = 1,66m:

$$\sqrt{z_o} = \frac{Q}{\varphi bh\sqrt{2g}} = \frac{14}{0,95.8.1,66.4,43} = 0,25;\ z_o = 0,5m$$

Vận tốc đến gần tại mặt cắt ra của giếng:

$$v_o \approx \frac{Q}{B(d+h)} = \frac{14}{8,0(0,75+1,66)} = 0,73m/s;$$

$$v_o^2/2g \approx 0,03m;\ z = z_o - v_o^2/2g = 0,47m$$

Chiều sâu mực nước trong giếng t = d + h + z = 0,75 + 1,66 + 0,47 = 2,88m.

Hệ số dự trữ đối với chiều sâu giếng $t/h''_c = 2,88/2,04 = 1,4$

Vì độ dự trữ khá lớn, nên có thể giảm chiều sâu giếng dưới.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

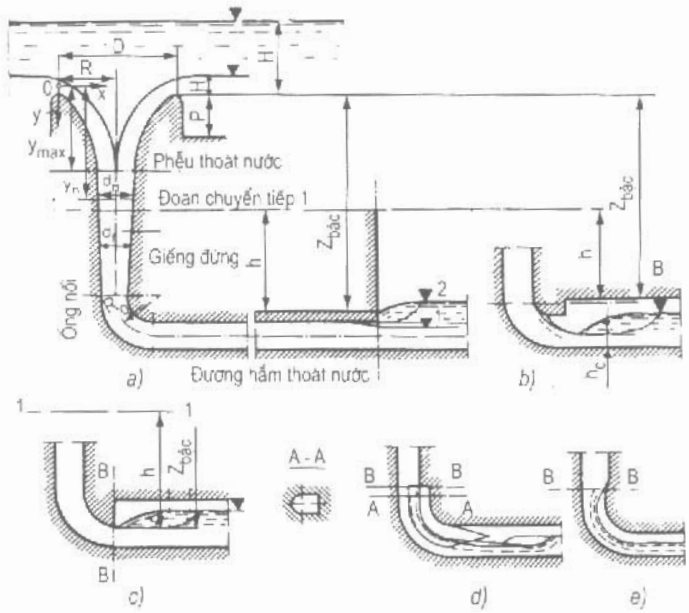
C. ĐƯỜNG XẢ NƯỚC KIỂU GIẾNG

Đường xả nước kiểu giếng là một công trình gồm mặt tràn có hình dạng tròn thông thường trong mặt bằng (là một đường tròn khép kín hoặc một phần), giếng thành đứng hoặc xiên và đường hầm dẫn nước có áp hoặc không áp. Dòng chảy trong giếng có thể là có áp hoặc rơi tự do.

10.13. ĐƯỜNG XẢ NƯỚC KIỂU GIẾNG VỚI GIẾNG CÓ ÁP THẲNG ĐỨNG

Công trình gồm (hình 10.25):

1. Phễu tràn (đôi khi có đỉnh phẳng);
2. Đoạn chuyển tiếp - giếng có đường kính giảm dần theo chiều dài.
3. Giếng đứng có đường kính cố định;
4. Khuỷu nối giếng với đường hầm dẫn nước.



Hình 10.25

a) Khả năng tháo của phễu tràn hình tròn

Khi dòng chảy qua phễu tràn hình tròn có mặt cắt lượn theo bề mặt dưới của luồng chảy (hình 10.26) và từ phía tiếp theo của tuyến xả (giếng - khuỷu đường hầm) không gây nên ngập, thì có thể chia chế độ làm việc của phễu thành:

$H/R < 0,46$ - phễu tràn không bị ngập

$H/R = 0,46 \div 1,0$ - phễu tràn bị ngập (do tự ngập, nên khả năng tháo của phễu tràn giảm đi; khi $H/R = 0,8 \div 1,0$ trên phễu hình thành một mặt thoáng phẳng);

https://tieulun.hopto.org

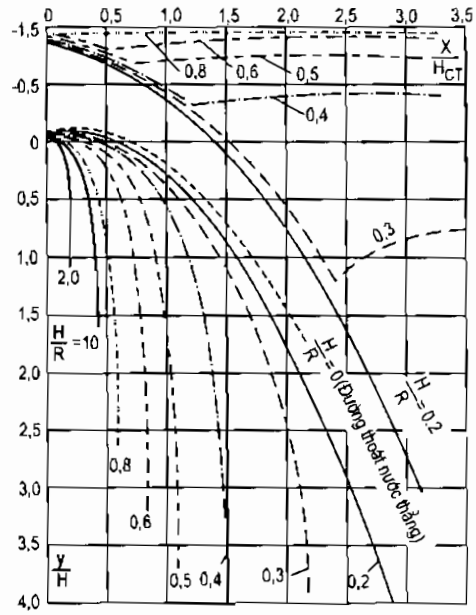
www.thuvien247.net

H/R = 1,0 ÷ 1,6 - phễu ngập (chế độ chảy gần với dòng chảy qua lỗ tràn chìm);

H/R > 1,6 (gần đúng) - phễu bị ngập nhiều.

Hiện tượng phễu tự ngập xảy ra khi R < 2,2H, vì vậy không nên lấy bán kính đường tràn vòng (không có đỉnh phẳng) bé hơn 2,2H. Hiện tượng ngập cũng có thể là do khả năng tháo của các bộ phận tiếp theo trên tuyến xả nước sau phễu tràn bị hạn chế.

Khi tháo lưu lượng tính toán (với tần suất đã cho), thì đỉnh phễu không được ngập. Tăng lưu lượng lớn hơn lưu lượng tính toán sẽ xảy ra ngập đỉnh phễu tràn, rồi ngập cả phễu; Kết quả là khả năng tháo bị giới hạn bởi trị số lưu lượng của công trình làm việc dưới chế độ có áp toàn bộ.



Hình 10.26

Lưu lượng qua đường xả nước kiểu giếng được xác định bằng:

1. Khi H/R ≤ 1 và phễu tràn không bị các bộ phận trên tuyến xả nước sau nó làm ngập, thì:

$$Q = \varepsilon m(2\pi R - n_0 s)\sqrt{2g}H^{3/2} \qquad (10\text{-}51)$$

trong đó:

m, R và H - lần lượt là hệ số lưu lượng, bán kính phễu và cột nước trên đỉnh của nó;

n_0, s và ε - số lượng trụ pin, chiều rộng của chúng tại cao trình đỉnh, hệ số co hẹp (trung bình bằng 0,9); khi không có trụ pin ε = 1.

Khi có thiết bị chống xoáy nước với H/R = 0,20 ÷ 0,38 và p/R = 0 ÷ 1, hệ số lưu lượng được xác định theo công thức N. I. Rômancô[1]:

$$m = \left[0,490 - 0,068\left(\frac{H}{R}\right)^{1/2}\right] - 0,03\left[t - \left(\frac{p}{R}\right)^{2/3}\right] \qquad (10\text{-}52)$$

trong đó: H - cột nước tính toán (dùng để vẽ mặt cắt phễu).

---

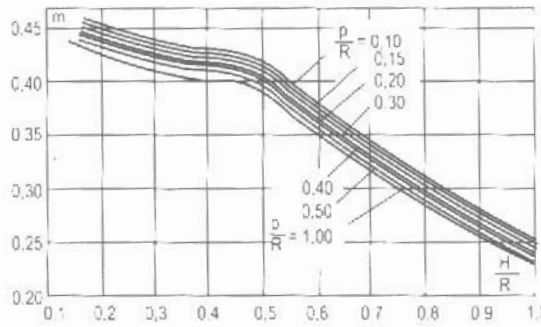
[1] Rômancô N. I. "Thủy lực" Kiép, "Kỹ thuật", 1966, N°2.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Khi không có thiết bị chống xoáy nước, hệ số lưu lượng tìm theo công thức (10-52) sẽ giảm đi 6%.

Đối với phễu tràn tròn có đỉnh và phễu được vẽ theo các tọa độ của bảng 10.3. Có thể xác định hệ số lưu lượng m theo đồ thị trên hình 10.27.



Hình 10.27

2. Khi phễu bị ngập nhiều, tức là khi H/R > 1,6 thì:

$$Q = \mu\omega\sqrt{2gH + z_d} \qquad (10\text{-}53)$$

trong đó:

μ - hệ số lưu lượng được xác định theo tổng các sức cản từ miệng vào phễu đến mặt cắt ra B - B (hình 10.25);

ω - diện tích mặt cắt ra của tuyến xả nước có áp;

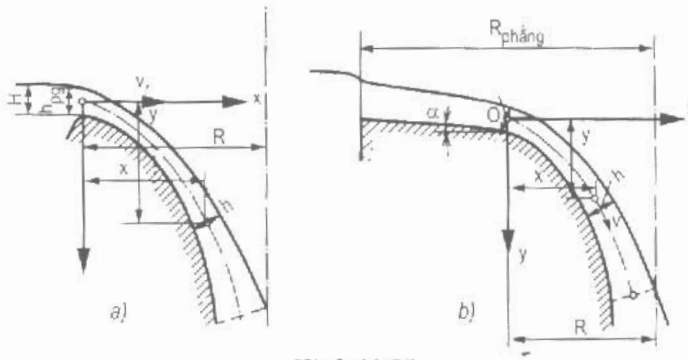
z_d - độ chênh của đỉnh đập tràn so với mặt thoáng tại mặt cắt ra của tuyến xả nước có áp.

b) Hình dạng của phễu không có đỉnh phẳng

Phễu không có đỉnh phẳng được dùng khi 2,2H < R < 5H. Khi R < 2,2H xảy ra hiện tượng tự ngập; khi R > 5H - các kích thước tăng lên rất lớn.

Bán kính phễu khi Q, H, n_o và s cho trước được xác định từ công thức (10-51).

Khi vẽ mặt cắt phễu theo A. N. Akhuchin bằng phương pháp tính quỹ đạo của luồng chảy trung tâm, thì gốc tọa độ đặt trên trục dòng chảy tại tuyến đỉnh, tại đó chiều sâu bằng 0,75H (hình 10.28a).



Hình 10.28

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Vận tốc trung bình trên đỉnh:

$$v_d = \frac{Q}{2\pi R.0,75H} \qquad (10\text{-}54)$$

Phương trình của luồng chảy trung tâm

$$y = gx^2 / 2v_d^2 \qquad (10\text{-}55)$$

Vận tốc trung bình và chiều dày của luồng chảy tại mặt cắt bất kì:

$$v = \sqrt{v_d^2 + 2gy} \qquad (10\text{-}56)$$

$$h = \frac{Q}{2\pi(R - x)v} \qquad (10\text{-}57)$$

Mặt cắt của phễu và mặt thoáng của luồng[1] được vẽ bằng cách, tại các mặt cắt khác nhau ta đặt thẳng góc với luồng trung tâm các đoạn bằng 0,5h và nối các điểm cuối của chúng lại. Có thể vẽ phễu và mặt thoáng của dòng chảy theo các tọa độ trong bảng 10.3 và 10.4. Gốc tọa độ O_t đặt trên mép tràn của phễu tràn tròn thành mỏng (hình 10.26). Vì các tọa độ của bảng này và các giá trị m được cho đối với phễu tràn tròn thành mỏng, nên cần lấy:

$$H_t = H + y_o; \qquad R_t = R + x_o$$

trong đó:

H - cột nước trên đỉnh của phễu tràn tròn êm;

R - bán kính cong của nó;

y_o và x_o - các tọa độ của điểm dâng cao nhất của mặt dưới của luồng chảy được xác định theo bảng 10.3.

Thí dụ: khi $p_t/R_t = 1,00$ và $H_t/R_t = 0,20$ ta có $y_o = 0,095H_t$; $x_o = 0,225H_t$.

Ghi chú: Với các giá trị H/R lấy theo tọa độ trong bảng 10.3 ta vẽ phễu của mặt cắt không chân không. Khi giảm cột nước xuống (H/R < 1), mặt cắt đó trở nên có chân không. Chân không có thể đạt đến 20% đại lượng cột nước tính toán. Khi vẽ mặt cắt phễu bằng phương pháp luồng chảy trung tâm, chân không có thể đến 50% cột nước tính toán. Để giảm thời gian làm việc của phễu với áp suất chân không, việc vẽ mặt cắt của nó nên tiến hành theo cột nước $H' = H_{mc}$, ứng với lưu lượng xác suất lớn nhất, chứ không phải với lưu lượng lớn nhất của tần suất cho trước.

---

[1] Xkriaga V. G. - "Tuyển tập công trình KHIXI", 1958, quyển 10 (Mặt cắt của phễu theo V. G. Xkiriaga và theo W. E. Wagner thực tế là trùng nhau. W. E. Wagner. Proceedings ASCE. 1954, t 80. N° 432).

https://tieulun.hopto.org

Bảng 10.3. Các tọa độ x_t/H_t và y_t/H_t của bề mặt dưới của luồng chảy phụ thuộc vào H_t/R_t và p_t/R_t

$\frac{x_t}{H_t}$	y_t/H_t															
	Khi $p_t/R_t = 1{,}00$ và H_t/R_t bằng								Khi $p_t/R_t = 0{,}50$ và H_t/R_t bằng							
	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	1,00	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	1,00
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*	*14*	*15*	*16*	*17*
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,025	−0,030	−0,029	−0,029	−0,028	−0,027	−0,026	−0,025	−0,018	−0,028	−0,027	−0,026	−0,026	−0,025	−0,025	−0,024	−0,018
0,050	−0,052	−0,050	−0,048	−0,046	−0,044	−0,042	−0,040	−0,025	−0,044	−0,043	−0,042	−0,041	−0,040	−0,039	−0,038	−0,021
0,075	−0,065	−0,061	−0,058	−0,057	−0,055	−0,052	−0,050	−0,020	−0,057	−0,056	−0,055	−0,053	−0,051	−0,049	−0,047	−0,017
0,100	−0,076	−0,072	−0,070	−0,066	−0,063	−0,060	−0,056	−0,008	−0,067	−0,065	−0,063	−0,061	−0,058	−0,056	−0,053	−0,005
0,125	−0,084	−0,080	−0,076	−0,072	−0,067	−0,064	−0,058	−0,008	−0,076	−0,072	−0,069	−0,066	−0,063	−0,060	−0,056	−0,011
0,150	−0,089	−0,084	−0,079	−0,075	−0,070	−0,064	−0,058	−0,030	−0,080	−0,077	−0,073	−0,069	0,065	−0,061	−0,077	−0,030
0,175	−0,092	−0,087	−0,082	−0,076	−0,070	−0,063	−0,057	−0,058	−0,083	−0,079	−0,075	−0,070	−0,066	−0,060	−0,054	−0,055
0,200	−0,094	−0,087	−0,082	−0,075	−0,067	−0,060	−0,052	−0,089	−0,085	−0,080	−0,076	−0,072	−0,066	−0,060	−0,050	−0,087
0,225	−0,095	−0,081	−0,075	−0,073	−0,065	−0,055	−0,046	−0,129	−0,085	−0,081	−0,075	−0,070	−0,063	−0,055	−0,043	−0,125
0,250	−0,094	−0,084	−0,077	−0,069	−0,060	−0,050	−0,037	−0,177	−0,085	−0,080	−0,074	−0,067	−0,058	−0,048	−0,035	−0,175
0,275	−0,092	−0,081	−0,073	−0,063	−0,054	−0,042	−0,028	−0,237	−0,082	−0,077	−0,070	−0,053	−0,053	−0,040	−0,025	−0,240
0,300	−0,087	−0,076	−0,067	−0,057	−0,046	−0,033	−0,017	−0,313	−0,078	−0,072	−0,065	−0,055	−0,045	−0,030	−0,015	−0,320
0,325	−0,082	−0,071	−0,060	−0,050	−0,037	−0,022	−0,003	0,402	−0,074	−0,067	−0,058	−0,048	−0,036	−0,020	−0,000	0,412
0,350	−0,077	−0,065	−0,053	−0,041	−0,028	−0,012	−0,011	0,560	−0,069	−0,060	−0,051	−0,040	−0,026	−0,010	−0,014	0,525

www.thuvien247.net
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0,375	-0,070	-0,057	-0,046	-0,032	-0,017	-0,000	0,025	0,720	-0,063	-0,053	-0,043	-0,031	-0,015	-0,002	0,028	0,660
0,400	-0,063	-0,049	-0,036	-0,021	-0,004	-0,013	-0,042	-1,040	-0,056	-0,044	-0,034	-0,021	-0,003	-0,017	0,047	0,920
0,425	-0,054	-0,040	-0,026	-0,010	0,008	0,027	0,060	1,520	-0,048	-0,035	-0,023	-0,011	0,010	0,031	0,067	1,380
0,450	-0,044	-0,030	-0,016	0,002	0,022	0,043	0,078	2,210	-0,038	-0,025	-0,012	-0,002	0,024	0,048	0,087	
0,475	-0,034	-0,019	-0,004	-0,014	-0,036	0,060	0,099		-0,029	-0,013	-0,001	0,015	0,038	0,065	0,109	
0,500	-0,025	-0,008	0,009	0,028	0,052	0,078	0,122		-0,018	-0,001	0,014	0,028	0,053	0,083	0,131	
0,550	-0,003	0,017	0,036	0,057	0,077	0,117	0,174		0,006	0,025	0,040	0,058	0,085	0,120	0,183	
0,600	0,023	0,044	0,066	0,089	0,118	0,162	0,233		0,032	0,052	0,070	0,092	0,122	0,165	0,243	
0,650	0,052	0,074	0,097	0,125	0,159	0,212	0,305		0,058	0,084	0,102	0,127	0,161	0,218	0,312	
0,700	0,084	0,107	0,132	0,164	0,203	0,272	0,389		0,090	0,116	0,136	0,166	0,207	0,280	0,400	
0,750	0,118	0,142	0,170	0,207	0,252	0,338	0,489		0,125	0,152	0,175	0,208	0,255	0,350	0,493	
0,800	0,154	0,180	0,211	0,250	0,307	0,415	0,635		0,162	0,188	0,215	0,252	0,307	0,427	0,610	
0,850	0,192	0,221	0,256	0,299	0,364	0,500	0,790		0,202	0,230	0,257	0,300	0,365	0,520	0,750	
0,900	0,233	0,264	0,301	0,352	0,428	0,610	1,080		0,246	0,272	0,302	0,352	0,427	0,625	0,960	
0,950	0,276	0,310	0,349	0,406	0,498	0,730			0,290	0,320	0,350	0,405	0,490	0,750	0,430	
1,000	0,319	0,357	0,398	0,463	0,590	0,910			0,340	0,370	0,402	0,460	0,575	0,900		
1,250	0,590	0,648	0,711	0,832	1,205				0,595	0,645	0,700	0,835	1,235			
1,500	0,898	0,995	1,115	1,460					0,920	0,998	1,100	1,430				
1,750	1,280	1,400	1,633	3,200					1,310	1,398	1,638	3,145				
2,000	1,748	1,880	2,400						1,760	1,875	2,410					
2,250	2,290	2,468							2,270	2,465						
2,500	2,365	3,290							2,866	3,315						
2,750	3,520	5,035							3,530	5,250						
3,000	4,285								4,300							
3,250	5,230								5,250							

https://tieulun.hopto.org

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Khi p_t/R_1 = 0,30 và H_t/R_1 bằng								Khi p_t/R_1 = 0,10 và H_t/R_1 bằng							
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,025	−0,026	−0,025	−0,024	−0,023	−0,022	−0,021	−0,020	−0,016	−0,020	−0,019	−0,018	−0,017	−0,015	−0,014	−0,013	−0,007
0,050	−0,042	−0,040	−0,039	−0,038	−0,037	−0,036	−0,035	−0,018	−0,033	−0,031	−0,029	−0,027	−0,025	−0,023	−0,021	−0,010
0,075	−0,056	−0,055	−0,053	−0,051	−0,049	−0,047	−0,045	−0,012	−0,044	−0,040	−0,037	−0,034	−0,031	−0,028	−0,025	−0,007
0,100	−0,066	−0,064	−0,062	−0,059	−0,056	−0,054	−0,051	−0,000	−0,051	−0,046	−0,043	−0,040	−0,036	−0,031	−0,026	−0,002
0,125	−0,074	−0,071	−0,067	−0,064	−0,060	−0,058	−0,053	−0,017	−0,055	−0,050	−0,046	−0,042	−0,035	−0,030	−0,025	−0,020
0,150	−0,077	−0,075	−0,073	−0,069	−0,061	−0,058	−0,053	−0,037	−0,056	−0,051	−0,048	−0,042	−0,032	−0,026	−0,020	−0,042
0,175	−0,080	−0,077	−0,073	−0,069	−0,063	−0,056	−0,050	−0,061	−0,056	−0,050	−0,047	−0,041	−0,028	−0,021	−0,014	−0,070
0,200	−0,081	−0,077	−0,072	−0,067	−0,060	−0,052	−0,043	−0,092	−0,055	−0,048	−0,045	−0,038	−0,025	−0,012	−0,004	−0,102
0,225	−0,081	−0,076	−0,071	−0,064	−0,055	−0,046	−0,036	−0,134	−0,052	−0,045	−0,040	−0,034	−0,016	−0,002	−0,007	−0,137
0,250	−0,080	−0,075	−0,068	−0,060	−0,050	−0,038	−0,027	−0,185	−0,046	−0,040	−0,035	−0,027	−0,008	−0,009	−0,020	−0,185
0,275	−0,077	−0,072	−0,064	−0,055	−0,043	−0,032	−0,017	−0,245	−0,041	−0,035	−0,028	−0,020	−0,000	−0,020	−0,032	−0,242
0,300	−0,073	−0,067	−0,058	−0,046	−0,035	−0,022	−0,005	−0,322	−0,034	−0,027	−0,020	−0,012	−0,012	−0,033	−0,047	−0,325
0,325	−0,070	−0,060	−0,052	−0,040	−0,026	−0,012	−0,009	−0,417	−0,027	−0,020	−0,012	−0,002	−0,022	−0,046	−0,063	−0,445
0,350	−0,064	−0,054	−0,044	−0,030	−0,015	−0,000	−0,024	−0,542	−0,019	−0,012	−0,002	−0,010	−0,034	−0,060	−0,077	−0,555
0,375	−0,057	−0,045	−0,035	−0,020	−0,005	−0,012	−0,040	−0,690	−0,010	−0,002	−0,008	0,021	0,047	0,074	0,096	0,700
0,400	−0,050	−0,037	−0,025	−0,010	−0,006	0,027	0,058	0,950	−0,001	0,007	0,018	0,033	0,061	0,089	0,116	0,910
0,425	−0,041	−0,026	−0,015	−0,002	−0,020	−0,042	0,076	1,530	0,009	0,018	0,030	0,046	0,075	0,106	0,134	1,550
0,450	−0,032	−0,016	−0,004	0,015	0,034	0,057	0,097		0,019	0,030	0,042	0,059	0,090	0,123	0,156	
0,475	−0,022	−0,004	−0,008	0,028	0,050	0,073	0,119		0,030	0,041	0,056	0,074	0,107	0,142	0,180	

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0,500	–0,011	0,008	0,021	0,043	0,065	0,092	0,142		0,040	0,052	0,068	0,087	0,123	0,162	0,204	
0,550	0,014	0,034	0,048	0,074	0,098	0,132	0,193		0,065	0,079	0,096	0,117	0,161	0,205	0,260	
0,600	0,042	0,063	0,077	0,107	0,135	0,175	0,252		0,090	0,107	0,125	0,152	0,200	0,253	0,330	
0,650	0,071	0,094	0,109	0,142	0,174	0,230	0,324		0,118	0,137	0,157	0,190	0,243	0,303	0,414	
0,700	0,102	0,127	0,143	0,182	0,220	0,293	0,408		0,148	0,172	0,193	0,232	0,291	0,362	0,508	
0,750	0,138	0,165	0,180	0,222	0,272	0,362	0,515		0,182	0,207	0,233	0,277	0,341	0,424	0,612	
0,800	0,176	0,202	0,222	0,267	0,326	0,444	0,635		0,219	0,247	0,278	0,327	0,394	0,490	0,745	
0,850	0,217	0,245	0,265	0,316	0,385	0,520	0,790		0,258	0,287	0,326	0,377	0,452	0,590	0,915	
0,900	0,261	0,289	0,313	0,369	0,452	0,630	0,030		0,299	0,333	0,377	0,430	0,520	0,695	1,120	
0,950	0,305	0,336	0,365	0,425	0,530	0,750	1,600		0,342	0,380	0,430	0,485	0,590	0,812	1,640	
1,000	0,350	0,384	0,420	0,482	0,610	0,910			0,385	0,428	0,482	0,535	0,665	0,965		
1,250	0,605	0,675	0,730	0,855	1,230				0,655	0,715	0,785	0,918	1,285			
1,500	0,910	1,050	1,138	1,480					0,980	1,060	1,180	1,550				
1,750	1,320	1,410	1,640	3,500					1,365	1,450	1,725					
2,000	1,780	1,895	2,450						1,810	1,930	2,530					
2,250	2,290	2,470							2,310	2,570						
2,500	2,860	3,300							2,880	3,500						
2,750	3,530	6,100							3,560							
3,000	4,300								4,340							
3,250	5,260								5,520							

Ghi chú: Các tọa độ của mặt dưới của luồng chảy khi $p_1/R_1 = 0,4$ và 0,2 (xem "Tuyển tập công trình KHIXI", 1958, quyển 10).

www.thuvien247.net

https://tieulun.hopto.org

Bảng 10.4. Các tọa độ x_t/H_t và y_t/H_t của bề mặt trên của luồng chảy phụ thuộc vào H_t/R_t và p_t/R_t

$\frac{x_t}{H_t}$	y_t/H													
	Khi $p_t/R_t = 0{,}100$ và H_t/R_t							Khi $p_t/R_t = 0{,}50$ và H_t/R_t						
	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*	*14*	*15*
0,000	−0,881	−0,885	−0,888	−0,893	−0,900	−0,906	−0,919	−0,870	−0,873	−0,876	−0,879	−0,883	−0,887	−0,915
0,200	−0,812	−0,826	−0,832	−0,842	−0,852	−0,862	−0,873	−0,830	−0,838	−0,847	−0,856	−0,864	−0,870	−0,875
0,400	−0,730	−0,751	−0,761	−0,770	−0,783	−0,800	−0,815	−0,750	−0,760	−0,770	−0,785	−0,800	−0,810	−0,820
0,600	−0,634	−0,656	−0,670	−0,685	−0,702	−0,724	−0,749	−0,650	−0,660	−0,670	−0,680	−0,710	−0,735	−0,755
0,800	−0,520	−0,543	−0,562	−0,586	−0,600	−0,632	−0,725	−0,525	−0,540	−0,550	−0,565	−0,620	−0, 655	−0,680
1,000	−0,386	−0,419	−0,447	−0,468	−0,480	−0,650	−0,777	−0,370	−0,390	−0,410	−0,445	−0,508	−0,660	−0,728
1,250	−0,192	−0,226	−0,250	−0,280	−0,335	−0,665	−0,800	−0,200	−0,220	−0,245	−0,290	−0,390	−0,720	−0,780
1,500	0,058	0,022	−0,007	−0,042	−0,400	−0,670	−0,800	−0,010	−0,040	−0,060	−0,110	−0,137	−0,740	−0,790
1,750	0,380	0,330	0,291	0,155	−0,430	−0,680	−0,800	0,225	0,180	0,140	−0,080	−0,430	−0,750	−0,800
2,000	0,765	0,678	0,620	0,065	−0,435	−0,680	−0,800	0,490	0,370	0,370	−0,110	0,480	−0,760	−0,850
2,250	1,180	1,050	0,920	0,000	−0,440			0,780	0,680	0,630	0,020	0,510	−0,7,60	−0,805
2,500	1,650	1,450	0,860	0,038	−0,440			1,090	0,960	0,910	−0,030	−0,530	−0,7,60	
2,750	2,150	1,880	0,830	0,060				1,440	1,290	0,880	−0,040	−0,540		
3,000	2,720	2,340	0,800					1,840	2,670	0,840	−0,060	−0,550		
3,250	3,350	2,830						2,260	2,100	0,820	−0,060			
3,500	4,080							2,740	2,580	0,810				
3,750	4,880							3,230	3,100	0,800				
4,000	5,730							3,770	3,640					
4,250	6,690							4,300	4,200					
4,500								4,860	4,480					
4,750								5,400	4,450					

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Khi $p_t/R_t = 0,30$							Khi $p_t/R_t = 0,10$						
0,000	–0,871	–0,875	–0,882	–0,890	–0,898	–0,906	–0,914	–0,870	–0,875	–0,884	–0,892	–0,900	–0,909	–0,916
0,200	–0,830	–0,837	–0,847	–0,855	–0,864	–0,870	–0,875	–0,810	–0,820	–0,830	–0,841	–0,851	–0,861	–0,871
0,400	–0,730	–0,740	–0,750	–0,760	–0,770	–0,800	–0,819	–0,725	–0,740	–0,755	–0,772	–0,787	–0,803	–0,814
0,600	–0,630	–0,645	–0,660	–0,680	–0,690	–0,720	–0,750	–0,616	–0,635	–0,648	–0,663	–0,680	–0,720	–0,740
0,800	–0,500	–0,520	–0,535	–0,555	–0,580	–0,630	–0,670	–0,485	–0,505	–0,520	–0,540	–0,565	–0,635	–0,655
1,000	–0,355	–0,375	–0,400	–0,430	–0,475	–0,620	–0,740	–0,330	–0,350	–0,370	–0,405	–0,435	–0,650	–0,735
1,200	–0,195	–0,230	–0,250	–0,280	–0,350	–0,680	–0,780	–0,150	–0,180	–0,220	–0,250	–0,295	–0,720	–0,790
1,400	0,000	0,030	–0,070	–0,110	–0,330	–0,720	–0,800	0,050	0,015	–0,030	–0,090	–0,310	–0,740	–0,805
1,600	0,210	0,180	0,130	0,090	–0,400	–0,750	–0,810	0,270	0,230	0,160	0,090	–0,390	–0,750	–0,810
1,800	0,470	0,430	0,370	0,110	–0,440	–0,760	–0,810	0,515	0,475	0,390	0,120	–0,440	–0,760	–0,820
2,000	0,750	0,700	0,630	0,000	0,450	–0,760	–0,800	0,790	0,740	0,650	0,005	–0,475	–0,765	–0,820
2,200	1,050	1,000	0,950	–0,040	–0,450	–0,760		1,095	1,030	0,940	–0,050	–0,490	–0,765	
2,400	1,400	1,320	0,870	–0,070	–0,450			1,440	1,360	0,900	–0,090	–0,505		
2,600	1,770	1,700	0,820	–0,080				1,800	1,720	0,805	–0,110			
2,800	2,180	2,100	0,790	–0,090				2,215	2,125	0,740	–0,120			
3,000	2,660	2,560	0,770					2,700	2,600	0,700				
3,200	3,200	3,080	0,770					3,220	3,140	0,680				
3,400	3,750	3,640						3,800	3,710					
3,600	4,330	4,240						4,390	4,320					
3,800	4,960	4,520						5,100	4,470					
4,000	5,500	4,460						5,700	4,380					

Ghi chú: Các tọa độ của mặt trên của luồng chảy lấy với $p_t/R_t = 0,4$ và 0,2 (xem "Tuyển tập các công trình của KHIXI", 1958, quyển 10).

www.thuvien247.net

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

c) Phễu có đỉnh phẳng

Nếu với lưu lượng và cột nước đã cho mà bán kính tại đỉnh của phễu tính ra lại lớn hơn (5 ÷ 7)H, thì phễu tràn hình tròn nên làm với đỉnh phẳng (hình 10.28b):

$$R_{ph.} = (5 \div 7)H \qquad (10\text{-}58)$$

Chiều sâu của dòng chảy tại cuối đỉnh phẳng, khi vào phễu, theo các số liệu thí nghiệm với $\alpha = 6 \div 9^{o}$, bằng:

$$h \approx 0{,}65H \qquad (10\text{-}59)$$

Để tránh hiện tượng tự ngập của phễu, nên lấy R > 2,2h, trong đó $R = R_{ph} - B$, tức là lấy R > 1,4H.

Thường, khi $R_{ph} = (5 \div 7)H$ ta lấy chiều dài của đỉnh phẳng:

$$B = (3 \div 4)H \text{ hoặc } B = (0{,}4 \div 0{,}5)R_{ph} \qquad (10\text{-}60)$$

Khi vẽ mặt cắt phễu, có thể xác định vận tốc trung bình tại cuối đỉnh theo công thức:

$$v_d = \frac{Q_{tt}}{2\pi R.0{,}65H} \qquad (10\text{-}61)$$

trong đó: $R = R_{ph} - B - 0{,}325H\sin\alpha$ (hình 10.28b).

Để vẽ luồng chảy trung gian trên đoạn parabôn của phễu sau đỉnh phẳng, ta dùng phương trình (10-62) (hệ thống tọa độ ghi trên hình 10.28b):

$$y = \frac{gx^2}{2v_d^2 \cos^2 x} + x\,tg\alpha \qquad (10\text{-}62)$$

trong đó: x thay đổi trong phạm vi từ 0 đến R, còn $R = R_{ph} - b - 0{,}5h\sin\alpha$.

Vận tốc tại điểm bất kì theo chiều dài luồng chảy trung gian được xác định theo công thức:

$$v_n = \sqrt{v_d^2 + 2gy_n + 2v_n \sin\alpha}\,\sqrt{2gy_n} \qquad (10\text{-}63)$$

Việc vẽ mặt cắt phễu và mặt thoáng được tiến hành bằng phương pháp luồng chảy trung tâm tương tự như trường hợp của phễu không có đỉnh phẳng.

d) Đoạn chuyển tiếp

Để làm mặt cắt ban đầu của đoạn chuyển tiếp ta lấy mặt cắt đi qua giao điểm của các luồng chảy của mặt thoáng ứng với lưu lượng tính toán. Đoạn chuyển tiếp có thể vẽ theo các tọa độ trong bảng 10.3 hoặc xác định bằng tính toán. Tung độ của giao điểm của các luồng chảy của mặt thoáng y_{max} mà ta tìm được bằng cách vẽ mặt cắt của mặt thoáng của luồng chảy sẽ cho ta giá trị của vận tốc tại mặt cắt đầu của đoạn chuyển tiếp:

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$v_y = 0,98\sqrt{2gy_{max}} \quad (10\text{-}64)$$

Đường kính của phễu tại mặt cắt đầu của đoạn chuyển tiếp

$$d = \sqrt{4Q/\pi v_y} \quad (10\text{-}65)$$

Việc xác định đường kính trong các mặt cắt tiếp theo của đoạn chuyển tiếp được tiến hành theo vận tốc tại từng mặt cắt $v = 0,93\sqrt{2gy}$.

Đoạn chuyển tiếp thường kết thúc bằng mặt cắt, tại đó chuyển động rơi tự do của luồng chảy chuyển thành chuyển động có áp. Từ điều kiện đó, độ chênh h của mặt cắt cuối của đoạn chuyển tiếp so với mặt thoáng tại mặt cắt B-B (hình 10.25) sẽ bằng:

$$h = \Sigma h_w - \frac{v_l^2 - v_{ra}^2}{2g} \quad (10\text{-}66)$$

trong đó: v_l và v_{ra} - vận tốc trung bình tại cuối đoạn chuyển tiếp và tại mặt cắt ra B-B.

Chiều dài của đoạn chuyển tiếp tại tất cả các giá trị tính toán của tổn thất cột nước Σh_w (từ lớn nhất đến bé nhất) phải bảo đảm cho mặt cắt 1-1 (mặt cắt chuyển tiếp của dòng chảy sang chuyển động có áp) nằm trong phạm vi của đoạn chuyển tiếp (hình 10-25). Nếu mặt cắt 1-1 nằm dưới đoạn chuyển tiếp, thì tại các mặt cắt của giếng thẳng đứng sẽ xuất hiện chân không và tính liên tục của dòng chảy bị phá hoại; nếu cao hơn thì có thể xảy ra hiện tượng phễu tràn bị ngập một phần hoặc ngập toàn bộ.

e) Giếng đứng, khuỷu và đường hầm dẫn nước

Giếng đứng xả nước có thể là hình trụ hoặc hình nón. Nên dùng giếng hình nón trong những trường hợp khi mặt cắt 1-1 chuyển tiếp dòng chảy sang chuyển động có áp, với các lưu lượng tương ứng, có thể nằm trong phạm vi giếng (hoặc theo điều kiện nối tiếp của đoạn chuyển tiếp với đường hầm). Trong trường hợp này, các kích thước mặt cắt của nó được xác định từ phương trình Becnuli viết cho mặt cắt tính toán và mặt cắt 1-1 chuyển tiếp dòng chảy sang chuyển động có áp, trong đó $p/\gamma = p_{aTm}/\gamma$ và có xét đến tổn thất cột nước.

Đường kính của khuỷu trong chế độ có áp của đường hầm thường lấy bằng đường kính của đường hầm (hình 20.25a). Khi chảy không áp, khuỷu có thể có đường kính bằng đường kính đường hầm (hình 10.25d, e) hoặc bé hơn (hình 10.25b, c).

Bán kính ngoặt của trục của khuỷu không nên lấy bé hơn $R_o = (2 \div 5)d$.

Để khử chân không trên trần của khuỷu (là nguyên nhân sâu xa dẫn đến trần bị xâm thực) ta dẫn không khí đến trần khuỷu, thí dụ bằng cách tách dòng chảy khỏi trần nhờ một thiết bị cắt chống chân không (hình 10.25d) hoặc bằng ngưỡng làm cho dòng lệch sang đường sinh ngoài của khuỷu cũng có thể tránh độ chân không

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

không cho phép bằng cách giảm diện tích mặt cắt ra của khuỷu (hình 10.25c) hoặc tăng bán kính cong của nó. Có thể tiến hành tính áp suất trên trần khuỷu bằng các công thức trong mục 10.15 và 10.19.

Khi dòng chảy trong đường hầm dẫn nước (hình 10.25b - d) chuyển động không áp, chiều sâu sau khuỷu được xác định theo các công thức thông thường của chiều sâu tại mặt cắt co hẹp (mục 9.9) có tính đến hệ số vận tốc theo hệ số đã biết về sức cản của đường xả nước (đến mặt cắt B-B). Hệ số sức cản của khuỷu được xác định theo các công thức mục 4.4. Tùy theo chiều cao (đường kính) của mặt cắt của đường hầm dẫn nước, độ dốc của nó, cao trình mặt thoáng ở hạ lưu, lưu lượng mà đường hầm có thể làm việc như ống có áp hoặc không áp. Trong đường hầm không áp, khi độ dốc nhỏ hơn phân giới thì sau mặt cắt co hẹp sẽ xuất hiện nước nhảy (xem mục 10.2).

g) Dẫn nước đến phễu

Hình dạng của phễu lõm ở thượng lưu dùng để dẫn nước vào phễu cần phải bảo đảm cho nước đến đều trên toàn bộ chu vi phần tràn của phễu. Ngoài ra, cần khử chuyển động quay của dòng nước chảy vào phễu là chuyển động làm giảm hệ số lưu lượng của phần tràn. Chuyển động quay sẽ không hình thành khi $(0,2 \div 0,4) > H/R$ (theo P. P. Môic[1]) và khi $p/R \geq 1$ (theo I. I. Rômancô[2]), trong đó p - chiều cao ngưỡng tràn. Có nhiều biện pháp bảo đảm dẫn nước đều đến phễu, không có chuyển động quay. Một trong số các phương pháp đó là từ phía bờ, xây dựng một tường phân cách cong êm mà hình dạng của nó được xác định theo phương trình[3]:

$$\beta - \alpha = C' \qquad (10\text{-}67)$$

trong đó:

β và α - các góc xác định vị trí đường viền của tường trong mặt bằng (hình 10.29a);

C' - cố định, trên thực tế lấy trong phạm vi từ 5 đến 15°.

Sau khi lấy giá trị C' trong giới hạn trên và tự cho các trị số góc α khác nhau từ 0 đến 70°, theo phương trình (10-67) ta tìm góc β. Giao điểm của các tia vẽ từ điểm 2 và 1 dưới các góc β và α khác nhau sẽ cho ta một loạt điểm xác định hình dạng của đường phân cách hoặc ranh giới của đường hào trên bờ (hình 10.29a).

---

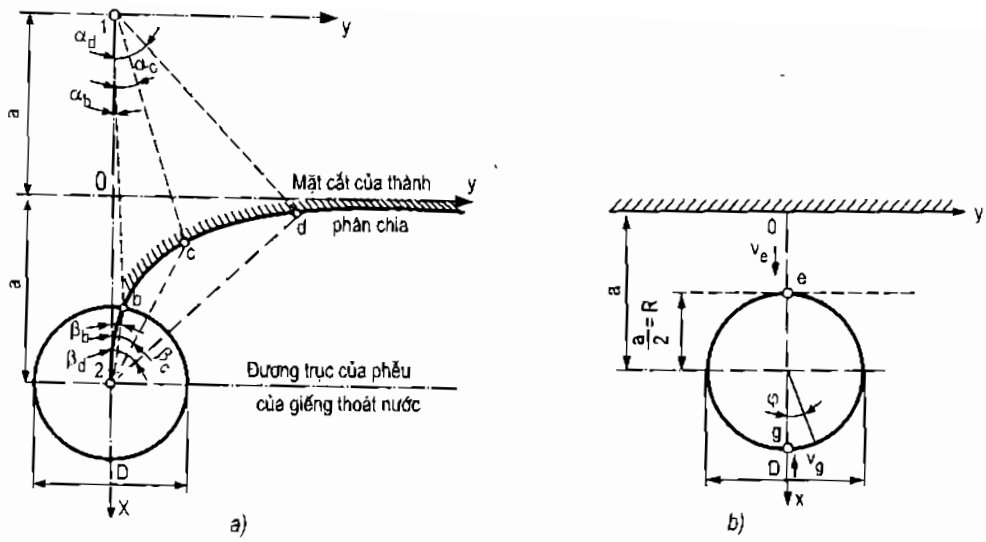
[1] Môic P. P. "Công trình của bộ môn thủy công MIXI". Tuyển tập, tập 24, quyển 2, M., 1958.

[2] Rômancô N. I. "Xây dựng kĩ thuật thủy lợi", 1963, N°4.

[3] Xepcô A. I. Tính toán đường xả nước kiểu giếng. Nhà xuất bản Viện hàn lâm công trình quân sự RKKA, M. 1938.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 10.29

Trong trường hợp phễu bố trí gần tường cứng và thẳng theo trục y (hình 10.29b), vận tốc trên đỉnh tại các điểm đối xứng qua tâm được xác định theo các công thức:

$$v_c = \frac{Q}{2\pi R.0,75H} \cdot \frac{2K_1}{K_1 + K_2} \qquad (10\text{-}68)$$

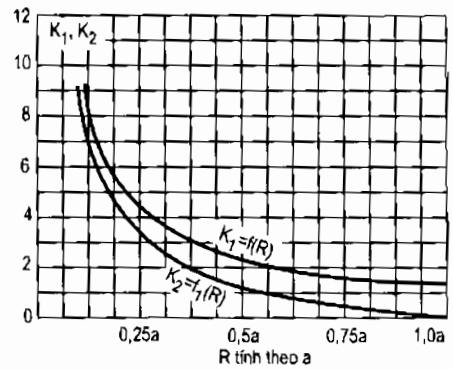
$$v_d = \frac{Q}{2\pi R.0,75H} \cdot \frac{2K_2}{K_1 + K_2} \qquad (10\text{-}69)$$

trong đó:

v_e và v_d - vận tốc trên đỉnh tại điểm e thuộc phía hồ chứa và tại điểm d thuộc phía đường hào (hình 10.29b);

R - bán kính phễu;

K_1, K_2 - các hệ số được xác định theo đồ thị trên hình 10-30 tùy theo bán kính phễu, lấy bằng một phần khoảng cách a.



Hình 10.30

Vận tốc tại các điểm khác của đỉnh có thể xác định theo hàm của góc φ

$$v_i = v_d + \frac{\pi - \varphi}{\pi}(v_c - v_d) \qquad (10\text{-}70)$$

trong đó: φ thay đổi trong phạm vi từ 0 đến π.

Ghi chú: Nếu vận tốc trên đỉnh phễu không giống nhau, thì phễu và đoạn chuyển tiếp có thể không đối xứng đối với sự phân bố vận tốc trên đỉnh trong bình đồ.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

P. P. Môic đề nghị vẽ ranh giới của đường hào theo parabôn (hình 10.31a)

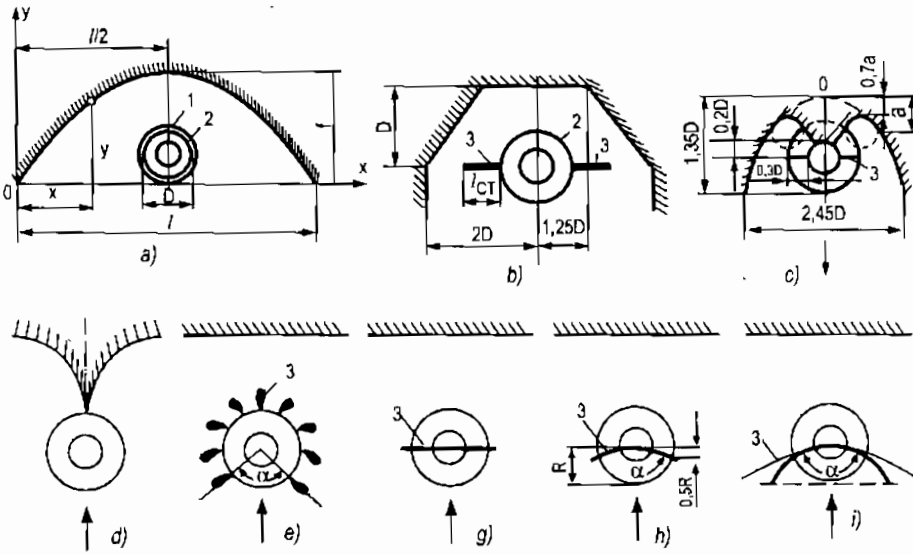
$$y = \frac{4x(l-x)f}{l^2}, \text{ lấy } l = (6,5 \div 7,0)D,\ f = 2D \qquad (10\text{-}71)$$

Theo N. I. Rômancô, đường hào dẫn nước trong mặt bằng có thể có dạng đa giác (hình 10.31b). Ở đây chiều dài của tường hướng dòng bằng $l_t = (2,5 \div 3)H_{tt}$.

Trong trường hợp đường hào sâu, A. R. Xkuep đề nghị dùng đường hào hình parabôn[1] (hình 10.31c)

$$y = 0,8D\left(\frac{x}{D}\right)^{5/2} \qquad (10\text{-}72)$$

với trụ phân cách, có góc tâm 70° và các kích thước tương đối p/H = 2, H/R = 0,14. Ở đây chiều dài của đỉnh tràn giảm xuống đến 0,8πR, nên khi tính toán cần tiến hành theo công thức (10-51). Có nhiều kết cấu thiết bị chống nước quay đã được đề nghị[2] (hình 10.31). Ngoài tường phân hướng dòng dạng cong (hình 10.31d), có thể dùng mố cong trong mặt bằng (hình 10.31e). Nếu góc α trong phạm vi 152°, thì không cần thiết xây mố hoặc có thể đặt chúng theo phương hướng tâm. Để khử xoáy người ta còn dùng tường hướng dòng thẳng (hình 10.31g) hoặc cong (hình 10.31h) xây trên đỉnh. Tường cong có hiệu quả hơn nếu đưa đỉnh cong của tường vào sâu trong phễu chừng 0,5R.



Hình 10.31

---

[1] Xkuep A. R. "Công trình LPI", 1966, N° 274.

[2] Môic P. P. Đường xả nước kiểu giếng "Năng lượng", 1970.

https://tieulun.hopto.org

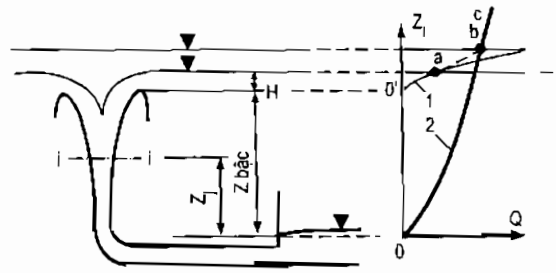
www.thuvien247.net

h) Sự chuyển tiếp từ chế độ làm việc của đường xả nước với đập tràn bị ngập chìm sang chế độ đỉnh tràn bị ngập nhiều

Trên hình 10.32, trong các tọa độ (Q, z_i) trình bày sự thay đổi khả năng tháo của đường xả nước kiểu giếng theo cột nước trên đỉnh tràn của nó khi H/R < 0,46 (tức là phễu không tự ngập). Khi phần tràn của phễu làm việc dưới chế độ không ngập (đoạn O'a của đường cong 1 trên hình 10.32), tính toán khả năng tháo của đường xả nước được tiến hành theo công thức (10.51).

Đại lượng z_i xác định vị trí mặt cắt mà thấp hơn nó trong giếng hình thành chuyển động có áp.

Khi $z_i > z_{tl}$ và H < 1,6R (gần đúng), phễu làm việc như lỗ ngập nhiều. Khả năng tháo của đường thoát nước được xác định theo công thức (10.52) (đoạn bc của đường cong 2) và trong tính toán có xét đến hệ số sức cản của phễu như trường hợp lỗ có mép vào cong êm (ζ_v = 0,05).



Hình 10.32

Khi cột nước tương ứng với đoạn ab ở giữa các đường cong 1 và 2 (hình 10.32), sẽ xảy ra sự chuyển tiếp từ chế độ làm việc của phễu như là đập tràn bị ngập chìm sang chế độ làm việc như lỗ bị ngập nhiều.

i) Tính toán đường hầm dẫn nước của đường xả nước kiểu giếng

Đường hầm không áp có thể nằm nghiêng (tính theo công thức Sêdi) hoặc nằm ngang (vẽ mặt thoáng theo công thức của B. T. Emxep đối với chuyển động không đều trong lòng dẫn nằm ngang, mục 9.2). Ở đây, chiều cao của đường hầm phải lớn hơn chiều sâu của dòng chảy trong đường hầm với lượng dự trữ chiều sâu do hàm khí, còn vị trí của mặt cắt ban đầu (mà từ đó tiến hành vẽ mặt thoáng) phải được xác định có xét đến chiều dài của nước nhảy (mục 10.2). Khi độ dốc của đường hầm lớn hơn phân giới, nước nhảy sẽ không hình thành.

Trong trường hợp đường hầm có áp, để tính toán đường xả nước cần phải biết cao trình mặt thoáng tại mặt cắt ra của nó. Khi cao trình mặt thoáng ở hạ lưu thấp hơn mép trên của mặt cắt ra của đường hầm có thể xảy ra sự tách dòng khỏi trần đường hầm (cao trình 1 trên hình 10.25a). Nếu cao trình mặt thoáng ở hạ lưu cao hơn mép trên của lỗ ra (cao trình 2 trên hình 10.25a), thì nên xét đến sự hình thành độ chênh phục hồi, là đại lượng có thể tính theo mục 10.24. Độ chênh phục hồi có thể đạt đến giá trị rất lớn - bằng hiệu số giữa các mức ở thượng và hạ lưu. Điều đó

https://tieulun.hopto.org

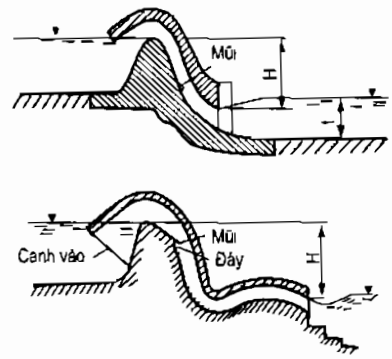
www.thuvien247.net

làm tăng cột nước làm việc của đường xả so với cột nước tĩnh. Cũng có thể tăng độ chênh phục hồi bằng biện pháp dùng các kết cấu đặc biệt (mục 10.16b).

D. ĐƯỜNG XẢ NƯỚC KIỂU XIPHÔNG

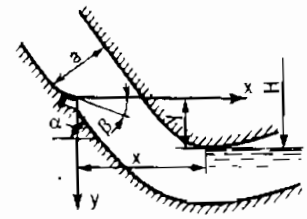
10.14. TÍNH TOÁN KHẢ NĂNG THÁO NƯỚC CỦA XIPHÔNG

Đường xả nước kiểu xiphông tự động làm việc khi mực nước ở thượng lưu chưa dâng lên cao lắm (hình 10.33) so với đỉnh của phần đầu của nó. Hệ số lưu lượng của đường xả nước kiểu xiphông $\mu = 0,70 \div 0,85$. Để tăng tính ổn định của xiphông, tại phần vào của nó người ta đặt một kết cấu đặc biệt để điều chỉnh lưu lượng.



Hình 10.33

Khi nước chảy từ xiphông nằm dưới mực nước cố định, thì cao trình điểm thấp nhất của trần tại đoạn ra của xiphông (so với mặt thoáng ở hạ lưu) phải không được cao hơn 0,5m và không được thấp hơn 0,25m. Khi mực nước sau xiphông thay đổi thì cần phải xây giếng để đảm bảo cho điểm thấp nhất của trần xiphông bị ngập trong các giới hạn đã nói ở trên.



Hình 10.34

Để nạp xiphông người ta làm một mũi có nhiệm vụ hất nước từ mặt tràn của xiphông lên trần của nó (hình 10.34). Cũng để cho xiphông bắt đầu làm việc (nạp xiphông) người ta đặt một ống (có khóa) mà qua đó có thể hút không khí ra ngoài. Xiphông thường làm việc ổn định khi lưu lượng thay đổi trong phạm vi từ $Q_{min} = 0,25Q_{max}$ đến Q_{max}.

$$Q = \mu\omega_{ra}\sqrt{2gH_o} \qquad (10\text{-}73)$$

trong đó:

$\mu = \dfrac{1}{\sqrt{1+\Sigma\zeta}}$ - hệ số lưu lượng của xiphông;

ω_{ra} - diện tích mặt cắt ra;

$H_o = H + v_o^2/2g$ - cột nước bằng hiệu số mực nước trước miệng vào và ra của xiphông có xét đến cột nước vận tốc tại thượng lưu.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Tổng tổn thất cột nước cục bộ $\Sigma\zeta$ gồm các tổn thất: a) ở lỗ vào; b) tại các chỗ thay đổi diện tích mặt cắt ngang của ống xiphông; c) tại các chỗ cong; d) tại mũi nạp; e) do ma sát theo chiều dài. Hệ số sức cản của lỗ vào gần bằng $\zeta_v = 0,1 \div 0,2$. Tổn thất do thu hẹp, ở các chỗ cong, do mở rộng có thể xác định theo chương 4. Sức cản do mũi nạp khi đặt nó trên đoạn thẳng của xiphông có thể lấy bằng sức cản khi co hẹp $\zeta_{mũi} = \zeta_{c.h}$. Hệ số sức cản theo chiều dài được xác định theo công thức mục 4.3, trong đó khi mặt cắt xiphông thay đổi, hệ số đó được tính cho từng đoạn với các giá trị trung bình của bán kính thủy lực và hệ số Sêzi.

Mép trên của lỗ vào của xiphông phải ngập dưới mực nước thượng lưu. Độ hạ thấp mực nước trước xiphông sau khi nó bắt đầu làm việc bằng

$$\delta_{,} = \frac{v_v^2 - v_o^2}{2g} \qquad (10\text{-}74)$$

trong đó: v_v và v_o - vận tốc tại mặt cắt vào của xiphông và vận tốc đến gần xiphông.

Mũi nạp kiểu gập, dùng để nạp xiphông, nên bố trí cao hơn điểm thấp nhất của trần[1]

$$y = (0,6 \div 0,7) \qquad (10\text{-}74a)$$

trong đó: a - chiều cao mặt cắt xiphông trước mũi.

Góc nghiêng β của mũi nạp gấp được xác định từ phương trình quỹ đạo của dòng chảy:

$$y = x\,tg\beta + \frac{g}{2v^2}(1 + tg^2\beta)x^2 \qquad (10\text{-}75)$$

trong đó: $x = y\,ctg\alpha + \dfrac{a}{\sin\alpha}$;

α - góc nghiêng của ống của xiphông so với đường nằm ngang;

$v = \varphi\sqrt{2g(H - y)}$ - vận tốc của luồng chảy khi gặp mũi nạp;

φ - hệ số vận tốc bằng $0,6 \div 0,7$.

10.15. TÍNH ÁP SUẤT TẠI MẶT CẮT CHỖ NGOẶT

Áp suất tại mặt cắt chỗ ngoặt của đường xả nước xiphông hoặc có áp khác cần được tính toán để đánh giá đại lượng chân không trong mặt cắt; chân không không được lớn hơn các trị số giới hạn, mà lúc đó xảy ra hiện tượng ngắt dòng và bắt đầu

---

[1] Kebecle X. I. Đường xả nước tự động kiểu xiphông. Tóm tắt luận án phó tiến sĩ KHKT, Tasken, 1954 (Trường đại học Bách khoa Trung Á).

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

xâm thực. Có thể tính áp suất tại điểm bất kì của mặt cắt ở chỗ ngoặt của xiphông theo công thức:

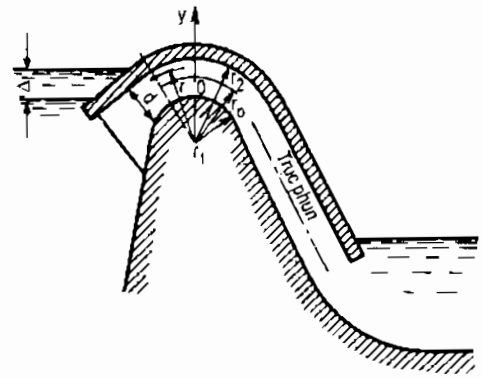
$$\left(\frac{p}{\gamma}\right)_i = \left(z + \frac{p}{\gamma}\right)_{tb} - z_i + \frac{p^*}{\gamma} \qquad (10\text{-}76)$$

trong đó:

$(z_i + p/\gamma)_{tb}$ - cao trình đường đo áp tại mặt cắt đang xét được xác định không xét đến ảnh hưởng độ cong của luồng chảy;

z_i - chiều cao vị trí của điểm xét;

p^*/γ - áp suất thủy động do dòng chảy bị ngoặt.



Hình 10.35

Trị số $(z + p/\gamma)_{tb}$ được xác định từ phương trình Becnuli. Khi viết phương trình Becnuli, hệ số động năng ở chỗ ngoặt của xiphông của mặt cắt chữ nhật được xác định theo công thức[1]

$$\alpha = \frac{\left(\frac{1}{r_1^2} - \frac{1}{r_2^2}\right)(r_2 - r_1)^2}{2\left(\ln\frac{r_2}{r_1}\right)^3} \qquad (10\text{-}77)$$

trong đó: r_1, r_2 - bán kính cong của đáy và của trần xiphông (hình 10.35).

Khi hình dạng của đáy và trần đồng tâm, áp suất thủy động được xác định theo công thức:

$$\frac{p^*}{\gamma} = \frac{u_o^2}{2g}\left[1 - \left(\frac{r_o}{r_o + y}\right)^2\right] \qquad (10\text{-}78)$$

trong đó: r_o - bán kính cong của trục xiphông;

y - khoảng cách từ trục xiphông đến điểm đang xét;

u_o - vận tốc theo trục xiphông tại tuyến đỉnh:

$$u_o = \frac{q}{r_o \ln\frac{r_2}{r_1}} \qquad (10\text{-}79)$$

---

[1] Xlixki X. M. Thủy lực của nhà máy thủy điện. "Năng lượng", 1970.

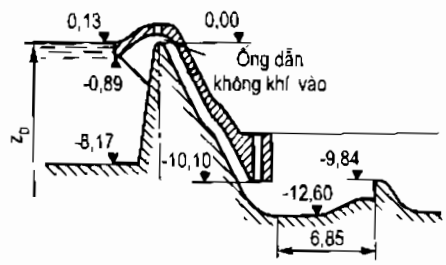
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Khi tâm cong của đáy và trần của xiphông không trùng nhau, áp suất thủy động có thể xác định theo các công thức (10-101), (10-102).

Khi các giá trị bán kính cong của đáy và trần của xiphông là đã cho, độ chân không lớn nhất có thể xuất hiện trên trần, ở đáy hoặc ở tường xiphông. Vị trí xuất hiện độ chân không lớn nhất trên mặt cắt đi qua đỉnh xiphông có thể tìm theo các công thức của G. V. Ximacôp[1].

Thí dụ: Xác định áp suất tại tuyến của đỉnh xiphông (hình 10.36). Lưu lượng Q = 19,58 m^3/s, chiều cao phần đầu d = 0,85m, chiều rộng ống b = 2,65m, bán kính cong của đỉnh xiphông r_1 = 0,92m, bán kính cong r_2 = 1,77m, bán kính trục $r_o = \frac{r_1 + r_2}{2} = 1,345m$. Diện tích mặt cắt ướt của xiphông sau chỗ co hẹp của đoạn vào $\omega_{ch} = \omega_d = 0,85.2,65 = 2,25m^2$, diện tích lỗ vào $\omega_v = 9,06m^2$, $\omega_v/\omega_{ch} = 4$, góc hình nón của đoạn vào $\alpha = 28^o$, góc ngoặt của ống xiphông tại đỉnh 64°. Độ chênh thượng lưu so với đỉnh của xiphông ▼ = 1224,7m (cao trình quy ước 0,0).



Hình 10.36

Giải:

1- Bỏ qua cột nước vận tốc ở thượng lưu, ta xác định từ phương trình Becnuli cao trình đo áp $(z + p/\gamma)_{tb}$ tại mặt cắt đi qua đỉnh:

$$\left(z + \frac{p}{\gamma}\right)_{tb} = z_o - \frac{\alpha v^2}{2g} - \Sigma h_w$$

Khi cao trình quy ước của đỉnh z_d = 0,0m, ta có z_o = ▼TL = 0,13m. Cột nước vận tốc tại mặt cắt đi qua đỉnh:

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{1}{2.9,81}\left(\frac{19,58}{2,25}\right)^2 = 3,86m$$

Hệ số động năng tại mặt cắt ở chỗ ngoặt, theo công thức (10-77):

$$\alpha = \frac{\left(\frac{1}{r_1^2} - \frac{1}{r_2^2}\right)(r_2 - r_1)^2}{2\left(\ln\frac{r_2}{r_1}\right)^3} = \frac{\left(\frac{1}{0,92^2} - \frac{1}{1,77^2}\right)(1,77 - 0,92)^2}{2\left(\ln\frac{1,77}{0,92}\right)^3} = 1,11$$

---

[1] Ximacôp G. V. Về đường xả nước kiểu xiphông có khả năng tháo lớn nhất. "Công trình LPI., 1968, N°289.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Tổn thất cột nước tại chỗ vào:

$$h_v = 0,2\frac{1}{2.9,81}\left(\frac{19,58}{9,06}\right)^2 = 0,05m$$

Tổn thất cột nước ở đoạn vào bị thu hẹp:

$$h_c = 0,1\frac{1}{2.9,81}\left(\frac{19,58}{2,25}\right)^2 = 0,39m$$

trong đó 0,1 - hệ số sức cản của đoạn thu hẹp dần khi góc hình nón $\alpha = 28^{o(1)}$.

Tổn thất cột nước tại chỗ ngoặt:

$$h_c = 0,13\frac{1}{2.9,81}\left(\frac{19,58}{2,25}\right)^2 = 0,50m$$

trong đó 0,13 - hệ số sức cản ở chỗ ngoặt của ống mặt cắt chữ nhật với góc ngoặt 32" (chương 4).

Tổng tổn thất: $\Sigma h_c = 0,05 + 0,39 + 0,50 = 0,94m$

Cao trình quy ước của đường đo áp tại mặt cắt đỉnh:

$$\left(z + \frac{p}{\gamma}\right)_{tb} = 0,13 - 1,11.3,86 - 0,94 = -5,09m$$

2- Vận tốc và cột nước vận tốc trên trục xiphông tại chỗ ngoặt:

$$u_o = \frac{Q}{r_o b \ln\frac{r_2}{r_1}} = \frac{19,58}{1,345.2,65\ln\frac{1,77}{0,92}} = 8,69m$$

$$\frac{u_o^2}{2g} = 4,00m$$

3- Áp suất thủy động tại trần (y = 0,425m), theo công thức (10-78) bằng:

$$\left(\frac{p^*}{\gamma}\right)_{tr} = 4,00\left[1 - \left(\frac{1,345}{1,345 + 0,425}\right)^2\right] = 1,68m$$

4- Áp suất thủy động trên đỉnh (y = -0,425m)

$$\left(\frac{p^*}{\gamma}\right)_{d} = 4,00\left[1 - \left(\frac{1,345}{1,345 - 0,425}\right)^2\right] = -4,56m$$

---

(1) Idensic I. E. Cẩm nang sức cản thủy lực, NXBNL, 1960.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

5- Theo công thức (10-76), với cao trình tương đối của trần $z_{tr} = z_d + d = 0,0 + 0,85 = 0,85m$, ta có áp suất dư trên trần $(p/\gamma)_{tr} = -5,09 - 0,85 + 1,68 = -4,26m$, tức là $p_{ck}/\gamma = 4,26m$.

Áp suất trên đỉnh $(p/\gamma)_d$ bằng

$$\left(\frac{p^*}{\gamma}\right)_d = -5,09 - 0,0 - 4,56 = -9,65m, \text{ tức là } \frac{p_{nh}}{\gamma} = 9,65m$$

Khi nhiệt độ nước 20°C, áp suất hơi nước bão hòa $p_{bh}/\gamma = 0,24m$ cột nước. Độ chân không phân giới theo công thức (10-104)

$$\left(\frac{p_{ck}}{\gamma}\right)_{pg} = 9,94 - \frac{\blacktriangledown}{900} - \frac{p_{ck}}{\gamma} = 9,94 - \frac{1224,7}{900} - 0,24 = 8,34m$$

Trong trường hợp này, khi $(p_{ck}/\gamma)_d = 9,65 > (p_{ck}/\gamma)_{pg} = 8,34m$ sẽ xảy ra hiện tượng ngắt dòng tại chỗ ngoặt trên đỉnh xiphông. Đây là điều không cho phép. Cần phải giảm độ cong của đỉnh xiphông (trục xiphông) hoặc giảm khả năng tháo của nó bằng cách tạo thêm sức cản hoặc là giảm diện tích mặt cắt của xiphông trên đoạn sau đỉnh.

E. KHẢ NĂNG THOÁT CỦA CÁC ĐƯỜNG XẢ NƯỚC CÓ ÁP VÀ CÁC ĐƯỜNG THOÁT NƯỚC KHÁC. TÍNH ÁP SUẤT VÀ VẬN TỐC TRONG CÁC MẶT CẮT TẠI CHỖ NGOẶT

10.16. CỘT NƯỚC TÁC DỤNG

Khi xác định cột nước tác dụng H_{td} (hiệu số của năng lượng đơn vị toàn phần ở thượng lưu và thế năng tại mặt cắt ra của đường tháo nước), ta phân biệt các trường hợp sau:

1) Chảy vào khí quyển (lỗ xả nước nằm cao hơn mực nước hạ lưu), sau lỗ xả nước không có trần, không khí có thể vào tự do dưới luồng chảy (hình 10.37a). Trong trường hợp này

$$H_{td} = \blacktriangledown TL - \blacktriangledown TL = T_0' - 0,5h_l \qquad (10\text{-}80)$$

trong đó: ▼TL - cao trình tâm lỗ.

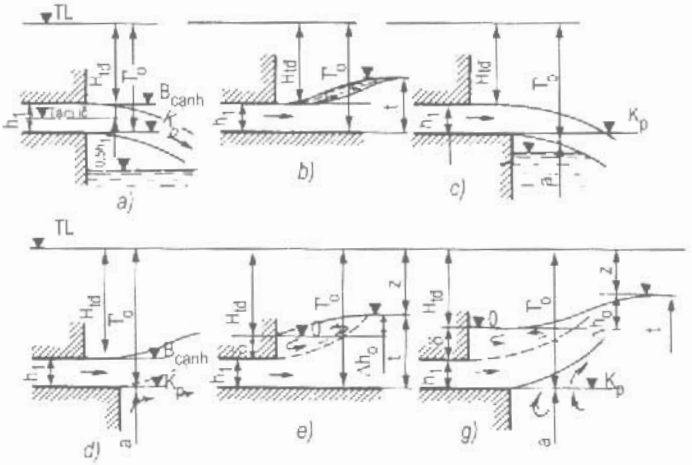
2) Lỗ đáy không ngập (hình 10.37b) hoặc lỗ không ngập có trần nằm ngang $l \geq 0,7h_l$ khi luồng chảy rơi tự do (hình 10.37c) và khi luồng bị ngập (hình 10.37d):

$$H_{td} = \blacktriangledown TL - \blacktriangledown B_m = T_0' - h_l \qquad (10\text{-}81)$$

trong đó: $\blacktriangledown B_m$ - cao trình mép trên của lỗ.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 10.37

Khi không có bậc (hình 10.37c, e), $T'_o = T$.

3) Lỗ đáy ngập hoặc trên bậc (hình 10.37e, g)

$$H_{td} = \blacktriangledown TL - \blacktriangledown L\tilde{o} = T'_o - (h_1 + \delta) = z + \Delta h_o \qquad (10\text{-}82)$$

trong đó: δ - chiều sâu ngập của mép trên của lỗ.

Khi không có bậc $T'_o = T_o$.

Khi đã biết cột nước tác dụng, lưu lượng trong tất cả các trường hợp đang xét ở trên (hình 10.37) được xác định theo công thức:

$$Q = \mu\omega_1\sqrt{2gH_{td}} \qquad (10\text{-}83)$$

trong đó: ω_1 - diện tích của lỗ ra.

Nếu luồng chảy chảy vào hạ lưu từ lỗ trên bậc không có trần (hình 10.37a) mà bị ngập, thì lưu lượng nên xác định theo công thức[1]:

$$Q = \sigma\mu\omega_1\sqrt{2gH_{td}} \qquad (10\text{-}83')$$

trong đó: H_{td} - cột nước tính theo công thức (10-81);

σ - hệ số xét đến ảnh hưởng của cột nước do áp h_o dưới luồng chảy tính từ mép dưới của lỗ đến khả năng thoát:

$$\sigma = \frac{\ln\eta}{\eta - 1}; \qquad \eta = \sqrt{\frac{T_1 - h_1}{T_1 - h_o}}$$

---

[1]. Xlixki X. M. "Các báo cáo khoa học của trường đại học Xây dựng", 1959, N° 1, trang 271.

https://tieulun.hopto.org

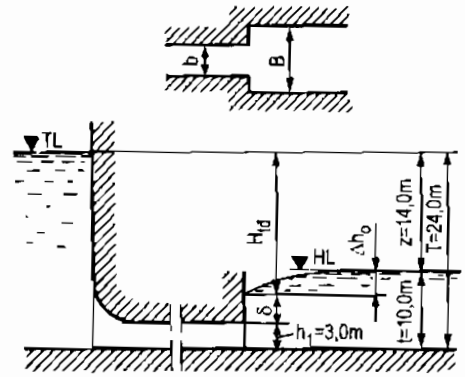
www.thuvien247.net

Khi $h_o = 0$ (chảy tự do từ lỗ vào khí quyển, hình 10.37a), công thức (10-83') cho kết quả chính xác hơn là công thức (10-83).

10.17. ĐỘ CHÊNH PHỤC HỒI, CHIỀU SÂU NGẬP CỦA LỖ ĐÁY

a) Chiều sâu ngập của lỗ đáy và tính toán khả năng thoát có xét đến ảnh hưởng của độ chênh phục hồi

Lỗ đáy sẽ bị ngập khi chiều sâu mực nước t ở hạ lưu lớn hơn chiều sâu nối tiếp với chiều sâu tại mặt cắt ra bằng chiều cao của lỗ. Trong đó mực nước tại tuyến có lỗ sẽ thấp hơn mực nước hạ lưu một lượng bằng độ chênh phục hồi Δh_o (hình 10.38).



Hình 10.38

Chiều sâu ngập δ của lỗ đáy (mép trên của nó) có thể xác định khi $\beta = b/B > 0,7$ theo I. I. Lêvi[1]. Khi Q, T_o, t, B, μ và các hệ số động lượng α_1 và α_t trong phương trình động lượng đã cho rồi thì từ phương trình động lượng xác định được Δh_o và sau đó độ mở của cửa hoặc chiều cao của lỗ ứng với tỉ lệ lưu lượng q đã cho - theo công thức:

$$\frac{2Q}{g}\left[\alpha_1\varphi\sqrt{2g(T_o - t + \Delta h_o)} - \frac{\alpha_t Q}{tB}\right] = \Delta h_o(2t - \Delta h_o)B \qquad (10\text{-}84)$$

Khi tính có thể lấy $\alpha_1 = 1,02$, $\alpha_t = 1,04$.

Nếu đã cho các mực nước ở thượng hạ lưu và h_1 mà cần phải tính khả năng thoát của đường dẫn, thì ta sử dụng phương trình:

$$4\mu^2 h_1 b(T_o - t + \Delta h_o)(\alpha_1 t - \alpha_t h_1) = t\Delta h_o(2t - \Delta h_o)B \qquad (10\text{-}85)$$

từ đó ta xác định được Δh_o.

Khi đã biết Δh_o, chiều sâu ngập của lỗ bằng:

$$\delta = t - h_1 - \Delta h_o \qquad (10\text{-}86)$$

Theo δ hoặc Δh_o vừa tính được, dùng công thức (10-82) ta xác định được cột nước tác dụng và sau đó là lưu lượng.

Thí dụ: Tính khả năng thoát của ống (hình 10.38) mặt cắt chữ nhật $h_1 \times b = 3,0 \times 3,0$m. Hệ số lưu lượng $\mu = 0,6$; độ chênh mực nước thượng hạ lưu $z = T - t = 14$m; chiều sâu mực nước ở hạ lưu $t = 10$m; $\alpha = 1,02$; $\alpha_t = 1,04$; $\beta = 3,0$m.

---

[1] Lêvi I. I. - "Thông báo của VNHIIK", 1932, tập 6.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Giải:

1- Từ phương trình (10-85) ta xác định độ chênh Δh_o: $4.0,36.3.3(14 + \Delta h_o)(1,02.10 - 1,04.3) = 10\Delta h_o(2.10 - \Delta h_o).3$, $\Delta h_o = 3,1$m.

2- Cột nước tác dụng: $H_{td} = z + \Delta h_o = 14,0 + 3,1 = 17,1$m

3- Lưu lượng cần tìm, theo công thức (10-83)

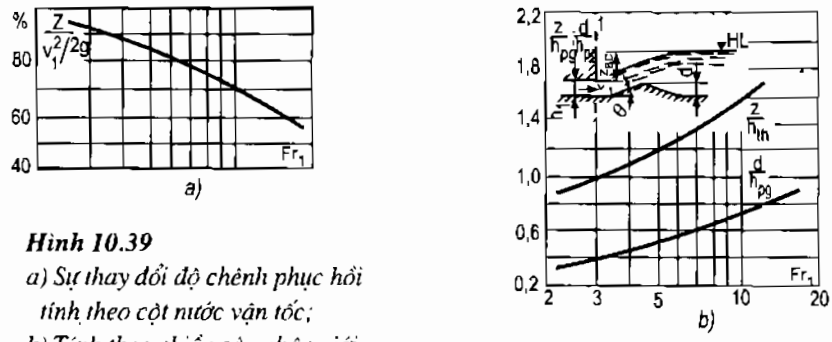
$$Q = 0,6.0,9.4,43\sqrt{17,1} = 99,0\ m^3/s$$

Không kể đến độ chênh phục hồi, Q = 90m^3/s.

b) Tăng khả năng thoát của đường xả nước đáy

Để sử dụng độ chênh phục hồi như một biện pháp có hiệu quả[1], trong lòng dẫn ở sau đường xả nước người ta làm một đoạn kênh có độ dốc ngược hoặc ngưỡng chảy bao êm (hình 10.39).

Khi xây dựng ngưỡng chảy bao êm, thì chiều cao ngưỡng và đại lượng chênh phục hồi $\Delta h_o = z_{ph}$ có thể xác định tùy thuộc vào số Frud theo các đồ thị của A. M. Pôpôp $d/h_{pg} = f(Fr_1)$; $\frac{z_{ph}}{v^2/2g} = f(Fr_1)$ và $\frac{z_{ph}}{h_{pg}} = f(Fr_1)$ trên hình 10.39. Chiều rộng của đoạn kênh mà trên đó có bố trí ngưỡng phải bằng chiều rộng lỗ (tường bên thẳng đứng). Độ nghiêng của ngưỡng 1 : 3. Khi số Frud bé hơn 3, đoạn nghiêng có thể bắt đầu ở ngay sau lỗ ra; khi số Frud trong phạm vi $3 < Fr_1 < 9$, khoảng cách tính đến đầu đoạn kênh nghiêng phải từ 0,25 đến 0,5 lần chiều sâu phân giới h_{pg}.



Hình 10.39
a) Sự thay đổi độ chênh phục hồi tính theo cột nước vận tốc;
b) Tính theo chiều sâu phân giới

Thí dụ: Việc tháo lưu lượng xây dựng được thực hiện qua ống với các thông số ghi trong ví dụ trước. Chiều rộng ở hạ lưu sau ống bằng chiều rộng ống (do xây dựng các tường dưới). Xác định khả năng hạ thấp đê quây thượng lưu bằng độ chênh phục hồi.

---

[1] Pôpôp A. M. Phục hồi năng lượng là biện pháp tăng khả năng thoát của đường hầm xây dựng. Tóm tắt luận án phó tiến sĩ KHKT, 1969 (LPI mang tên M. I. Kalinin).

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Giải: Vận tốc tại mặt cắt ra:

$$v = \mu\sqrt{2gH_d} = 0,6.4,43\sqrt{17,1} = 11\,m/s$$

Số Frud: $$Fr = \frac{v^2}{gh_1} = \frac{11^2}{9,81.3} = 4,1$$

Khi $\alpha = 1,1$, chiều sâu phân giới $h_{pg} = 4,92m$.

Theo đồ thị trên hình 10.39, khi Fr = 4,1m ta có $d/h_{pg} = 0,46$, $z_{ph}/h_{pg} = 1,1$. Do đó $d = 0,46h_{pg} = 0,46.4,92 = 2,26m$, $z_{ph} = 1,1.4,92 = 5,4m$.

Khi bố trí ống sao cho mép trên của lỗ ra của nó nằm sâu dưới mực nước hạ lưu một trị số $z_{ph} = 5,4m$, ta sẽ có mép trên của lỗ không bị ngập. Ở đây mực nước tại thượng lưu sẽ cao hơn mực nước ở hạ lưu một đại lượng $H_d - z_{ph} = 17,1 - 5,4 = 11,7m$. Nếu không nâng cao vị trí ống và không xây ngưỡng với chiều cao d thì độ chênh giữa ▼TL và ▼HL sẽ bằng z = 14,0m. Do đó, cao trình mực nước tại thượng lưu giảm xuống 14,0 – 11,7 = 2,3m. Điều đó cho phép giảm chiều cao của đê quây.

Nếu khi tính toán khả năng thoát của lỗ xây dựng mà không xét đến độ chênh phục hồi (theo hiệu số mực nước ở thượng lưu và hạ lưu) thì đê quây sẽ cao hơn lên 5,4m.

10.18. TÍNH TOÁN KHẢ NĂNG THOÁT CỦA ĐƯỜNG XẢ NƯỚC CÓ ÁP BỐ TRÍ TRÊN BẬC

Nếu sau đường xả nước có áp mà có các trụ pin làm nhiệm vụ hạn chế sự phân dòng ngay sau luồng chảy chảy ra từ lỗ của đường xả nước (hình 10.40, 10.41), thì mép trên của lỗ của đường xả nước sẽ vẫn là không ngập khi mực nước ở hạ lưu dâng rất cao so với mép này.

a) Tính mực nước ở hạ lưu, khi nó làm ngập lỗ của đường xả nước có áp trên bậc

Theo sơ đồ công trình trên hình 10.40 và 10.41, chiều sâu hạ lưu t (tính từ cao trình sân sau) là chiều sâu làm ngập mép trên lỗ của đường xả nước, được tính theo các công thức:

- Khi $\beta = b/B > 0,65 \div 0,7$ và $l_{tru} \geq h_{opg}$ thì

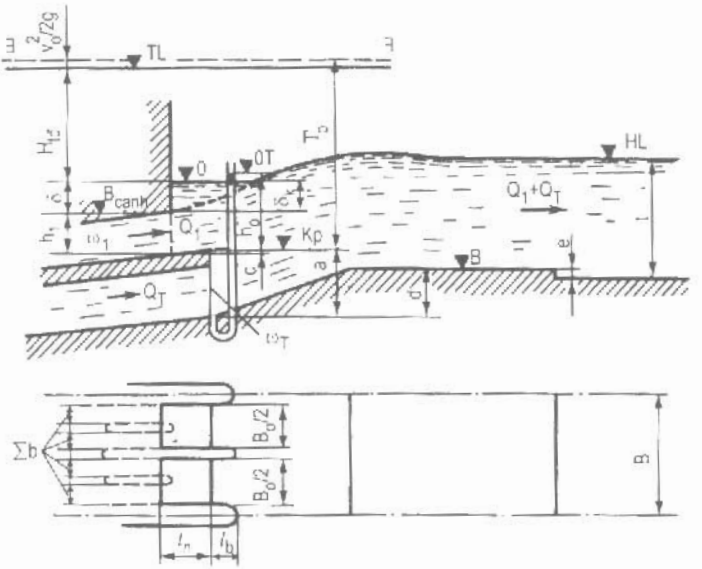
$$t_{pg} = e + \sqrt{(a-d)^2 + 2(a-d)h_{opg}\beta.h_1 + (1-\beta_o)h_{opg}^2 + A} \qquad (10\text{-}87)$$

- Khi $\beta = b/B > 0,65 \div 0,7$ và $l_{trụ} < h_{opg}$ thì:

$$t_{pg} = e + \sqrt{(a-d)^2 + 2(a-d)h_{opg} + h_1^2 + A} \qquad (10\text{-}88)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 10.40

- Khi $\beta < 0,65$ và $l_{tru} \geq h_{opg}$ hoặc $l_{tru} = 0$ thì

$$t_{pg} = a - d + e + h_{opg} \qquad (10\text{-}89)$$

nếu $l_{tru} = 0$, thì tính toán theo công thức (10-89) có thể thực hiện được trong trường hợp khi $b \geq 4\,(h_{opg} - h_1)$ với độ chính xác của tính toán là t_{tt}/t_{pgh} chừng ± 10%.

Trong các công thức nói trên, h_o - cột nước đo áp tính từ mép tràn của sàn tại tuyến có bậc ứng với thời điểm ngập mép trên của lỗ (cột nước đo áp phân giới).

$$h_{opg} = 0,58h_1\sqrt{2\beta' Fr_1 + 1} \qquad (10\text{-}90)$$

trong đó:

Khi $l_{tru} > h_1$: $\beta' = \beta = \dfrac{b}{B_o}$

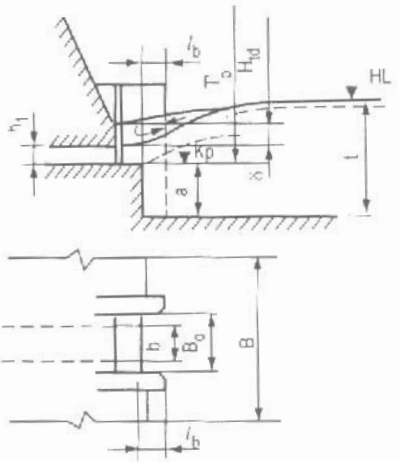
Khi $l_{tru} < h_1$: $\beta' = \beta = \dfrac{b}{B}$

$$Fr_1 = \frac{q^2}{gh_1^3} = q = \frac{Q}{b}$$

h_1 - chiều cao lỗ của đường xả nước;

B_o và B - khoảng cách giữa các trụ pin và giữa các trục của chúng (khi $b = B_o$, $\beta = 1$);

l_{tru} - chiều dài các trụ nhô ra phía hạ lưu và tính từ mép tràn của bậc.



Hình 10.41

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Khi tính toán chế độ ngập lỗ của đường xả nước của trạm thủy điện kết hợp, trị số của số hạng A trong các công thức (10-87), (10-88) được tìm theo công thức sau:

$$A = \frac{2}{gB}\left[\frac{\alpha_1 Q_đ^2}{\omega_1} + \frac{\alpha_T Q_T^2}{\omega_T} - \frac{\alpha_t (Q_đ + Q_T)^2}{\omega_t}\right] \qquad (10\text{-}91)$$

trong đó:

$Q_đ$, Q_T - lưu lượng của đường xả nước và tuabin;

ω_1, ω_T, ω_t - diện tích của lỗ của đường xả nước, của ống hút, của mặt cắt ướt ở hạ lưu với chiều rộng B;

α_1, α_T, α_t - hệ số động lượng bằng khoảng: luồng chảy tại tuyến có bậc $\alpha_1 = 1{,}0$, lỗ của ống hút $\alpha_T = 1{,}37$, hạ lưu $\alpha_t = 1{,}03$; lỗ thoát đáy $\alpha_T = 1{,}0$.

Trong các công thức nói trên đối với công trình ứng với sơ đồ trên hình 10.41, ta có e = 0, d = 0, $\omega_T = 0$; $Q_T = 0$. Trong trường hợp này

$$A = \frac{2Q_đ^2}{gB}\left[\frac{\alpha_1}{\omega_1} - \frac{\alpha_1}{\omega_t}\right] \qquad (10\text{-}91')$$

hoặc:

$$A = 2Fr_1 h_1^3 \beta\left(\frac{\alpha_1}{h_1} - \frac{\alpha_1 \beta}{t}\right) \qquad (10\text{-}92)$$

trong đó: $Fr_1 = \frac{q^2}{gh_1^3}$;

h_1 và t - các chiều sâu của luồng chảy trên bậc và ở hạ lưu (ngoài phạm vi giếng tiêu năng, nếu có giếng đó).

b) Tính chiều sâu ngập mép trên của lỗ của đường xả nước đặt trên bậc[1]

Để tính chiều sâu ngập δ_K của lỗ của đường xả nước (mép trên của nó) trong trường hợp tổng quát, khi từ lỗ đến bậc có một lưu lượng bổ sung (trạm thủy điện kết hợp, đường xả nước hai tầng) hoặc khi không có lỗ trên bậc, có thể sử dụng các công thức sau đây tùy theo các điều kiện ngập.

Khi $\beta = b/B > 0{,}65 \div 0{,}7$ có thể có các trường hợp tính toán sau:

1. Nếu lỗ ngập nhiều sao cho $\blacktriangledown HL - \blacktriangledown Kp > (3h_{opg} - h_1)$, thì $\delta_K = h_o - h_1 + c$, trong đó:

$$h_o = \frac{-(2a-d) + \sqrt{(2a-d)^2 - 4\left[a^2 - (a-d)d - dt - (t-e)^2 + A\right]}}{2} \qquad (10\text{-}93)$$

---

[1] Xlixki X. M. Thủy lực của nhà máy thủy điện, "Năng lượng", 1970.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

A tính theo các công thức (10-91) hoặc (10-92), h_o - cột nước đo áp dưới luồng chảy tại tuyến có bậc tính từ mép tràn của sàn. Các đại lượng khác trong công thức và các kí hiệu kích thước công trình được ghi trên hình 10.40, 10.41.

2. Khi $\blacktriangledown HL - \blacktriangledown Kp \le 3\ (h_{opg} - h_1)$, tức là khi lỗ bị ngập tương đối ít, cần giải hệ phương trình:

$$\begin{aligned} h_o &= f(\delta_K) \\ \delta_K &= f(h_o, r_o) \end{aligned} \qquad (10\text{-}94)$$

trong đó bổ sung vào các kí hiệu đã dùng trên có δ_K - chiều sâu ngập của mép trên của lỗ tại tuyến có bậc; r_o - bán kính cong của bề mặt luồng chảy tại tuyến có bậc ở thời điểm ngập lỗ.

Phương trình thứ nhất có dạng:

$$h_o = \frac{-(2a-d)}{2(1-\beta_o)} + \frac{\sqrt{(2a-d)^2 - 4(1-\beta_o)\left[a^2 - (a-d)d - dt - (t-e)^2 + \beta_o(h_1+\delta_K) + A\right]}}{2(1-\beta_o)} \qquad (10\text{-}95)$$

Phương trình thứ hai:

$$\delta_k = h_o - h_1 - \mu^2(T_o' + c - h_1 - \delta) \times 1 - \left[\frac{\left(1 + 1{,}1\ln\frac{1}{1-\frac{\delta_K}{h_o - h_1}}\right) r_o}{\left(1 + 1{,}1\ln\frac{1}{1-\frac{\delta_K}{h_o - h_1}}\right) r_o + h_1}\right]^2 \qquad (10\text{-}96)$$

trong đó:

$$r_o = \frac{h_1\sqrt{1 - \frac{h_{opg} - h_1}{\mu^2(T_o' + c - h_1)}}}{1 - \sqrt{1 - \frac{h_{opg} - h_1}{\mu^2(T_o' + c - h_o)}}} \qquad (10\text{-}97)$$

μ - hệ số lưu lượng của đường xả nước.

Sau khi giải các phương trình (10-95) và (10-96), ta vẽ các đường cong mà giao điểm của các đường đó cho ta δ_K và h_o. Khi δ_K biết trước, đại lượng ngập đang tìm của mép trên của lỗ bằng $\delta \approx \delta_K + c$, còn khi sàn nằm ngang $\delta \approx \delta_K$. Để vẽ đồ thị $\delta_K = f(h_o, r_o)$ (công thức 10-96) có thể dùng toán đồ hình 10.42.

Khi $\beta = b/B < 0{,}65$, có thể có các trường hợp tính toán sau:

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

1. Trụ pin khô về phía hạ lưu không có chiều dài hoặc có không đáng kể ($l_{tru} \approx 0$). Khi các lỗ trung gian không làm việc, mực nước tại tuyến lỗ được xác định bằng mực nước ở cuối sân tiêu năng. Lúc đó (hình 10.40)

$$\delta = t - e + d - a - h_1 \qquad (10\text{-}98)$$

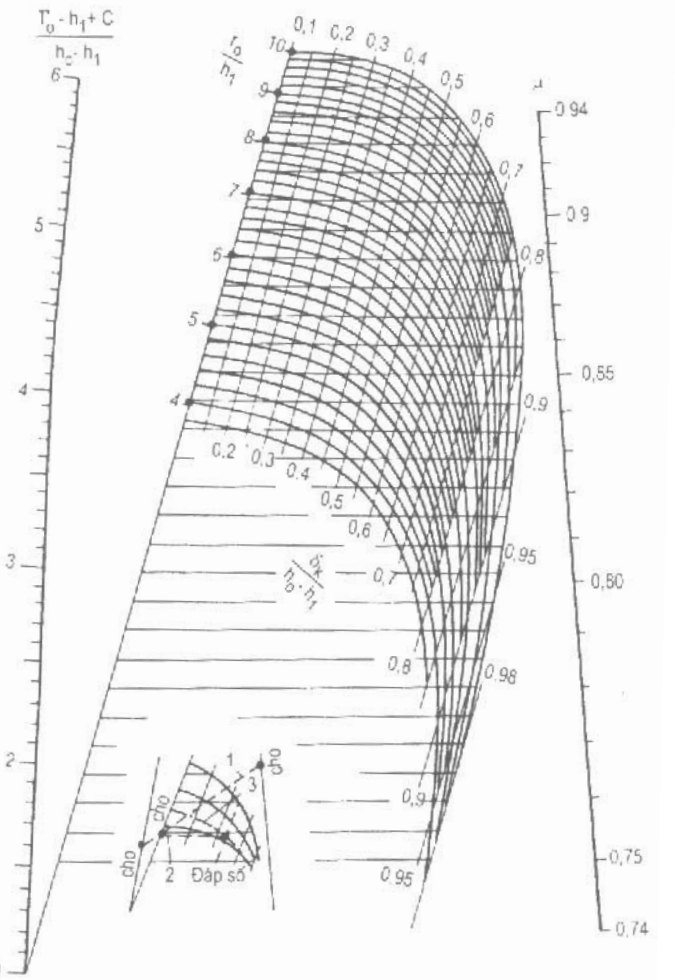
2. Một hai lỗ trung gian làm việc. Có trụ pin nhô về phía hạ lưu. Lỗ ngập ít, tức là $\blacktriangledown H1. - \blacktriangledown Kp \leq 3\,(h_{o,pg} - h_1)$. Áp suất dưới luồng chảy có thể xác định bằng mực nước ở các khu vực nước quay bên. Điều đó cho ta:

$$h_o = t - e + d - a \qquad (10\text{-}99)$$

Với h_o đã tìm, tính toán tiến hành theo (10-96) và sử dụng toán đồ trên hình 10.42.

Tính toán khả năng thoát của đường dẫn nước có áp của trạm thủy điện kiểu kết hợp được tiến hành đồng thời với việc tính toán phun xiết (mục 10.26).

Thí dụ: Tính khả năng thoát của đường xả nước có áp (hình 10.41) của đập trọng lực có lỗ trên bậc. Cho T'_o = 26,88m; t = 17m; a = 8,0m; h_1 = 2,40m; b = 6,0m ω_1 = 14,4m^2; B_o = 8,0m; β_o = b/B_o = 0,75; l_{tru} = 7,0m; μ = 0,88. Sàn sau lỗ của đường xả nước nằm ngang. Chiều rộng ở hạ lưu B >> b (β < 0,65).



Hình 10.42

Giải:

1- Lưu lượng đơn vị tại tuyến có lỗ, khi mép trên không ngập

$$q = \mu h_1 \sqrt{2g(T'_o - h_1)} = 0,88.2,40\sqrt{2.9,81.(26,88 - 2,40)} = 46,2 m^3/(s.m)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$Fr_1 = \frac{q^2}{gh_1^3} = \frac{46,2^2}{9,81.2,4^3} = 15,75$$

2- Ta xác định xem lỗ của đường xả nước có bị ngập hay không. Theo công thức (10-90) ta xác định cột nước đo áp phân giới, là cột nước khi lỗ bị ngập. Trong trường hợp này $l_{tru} > h_1 (7,0 > 2,40)$, vì vậy $\beta' = \beta_o = 0,75$

$$h_{opg} = 0,58h_1\sqrt{2\beta' Fr + 1} = 0,58.2,40\sqrt{2.0,75.15,75 + 1} = 6,9m$$

Theo đầu bài ta có $\beta < 0,65$, do đó chiều sâu ở hạ lưu ứng với thời điểm ngập lỗ được xác định theo công thức (10-89) (khi d = 0, e = 0);

$$t_{pg} = a + h_{opg} = 8,0 + 6,9 = 14,9m$$

Chiều sâu ở hạ lưu $t = 17,0 > t_{pg} = 14,9m$, do đó mép trên của lỗ bị ngập.

3- Ta xác định chiều sâu ngập của mép trên của lỗ δ:

$$\blacktriangledown HL - \blacktriangledown Kp = t - a = 17,0 - 8,0 = 9,0m$$

$3(h_{opg} - h_1) = 3(6,9 - 2,40) = 13,50m$; $9,0 < 13,5$. Ở đây $\beta < 0,65$, do đó cần tiến hành tính toán theo các công thức (10-99), (10-96). Theo công thức (10-99) khi d = 0 và e = 0

$$h_o = t - a = 17,0 - 8,0 = 9,0m$$

Chuyển sang xác định δ, ta dùng toán đồ trên hình 10.42 thay cho việc tính toán trực tiếp bằng công thức (10-96). Khi c = 0, ta có

$$\frac{T_o' - h_1 + c}{h_o - h_1} = \frac{26,88 - 2,4}{9,00 - 2,4} = 3,81$$

$$\frac{r_o}{h_1} = \frac{\sqrt{1 - \dfrac{6,9 - 2,40}{0,88^2(26,88 - 2,40)}}}{1 - \sqrt{1 - \dfrac{6,9 - 2,40}{0,88^2(26,88 - 2,40)}}} = 6,8$$

Theo toán đồ ta xác định được $\dfrac{\delta_K}{h_o - h_1} = 0,74$ do đó, $\delta_K = 0,74(9,0 - 2,4) = 4,7m$.

Vì c = 0 (sàn nằm ngang), $\delta = \delta_K = 4,7m$.

4- Ta xác định cột nước của đường xả nước theo công thức (10-82)

$$H_{td} = T_o' - (h_1 + \delta) = 26,88 - (2,40 + 4,7) = 19,78m$$

(với hiệu số các cao trình thượng hạ lưu là 17,88m, tức là khi không xét đến chiều sâu ngập thực tế của lỗ, ta đã giảm cột nước xuống 1,9m).

Lưu lượng: $Q = 0,88.14,4\sqrt{2.9,81.19,78} = 250\ m^3/s$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

10.19. TÍNH TOÁN ÁP SUẤT VÀ VẬN TỐC TẠI CÁC MẶT CẮT Ở CHỖ NGOẶT CỦA ĐƯỜNG DẪN NƯỚC CÓ ÁP

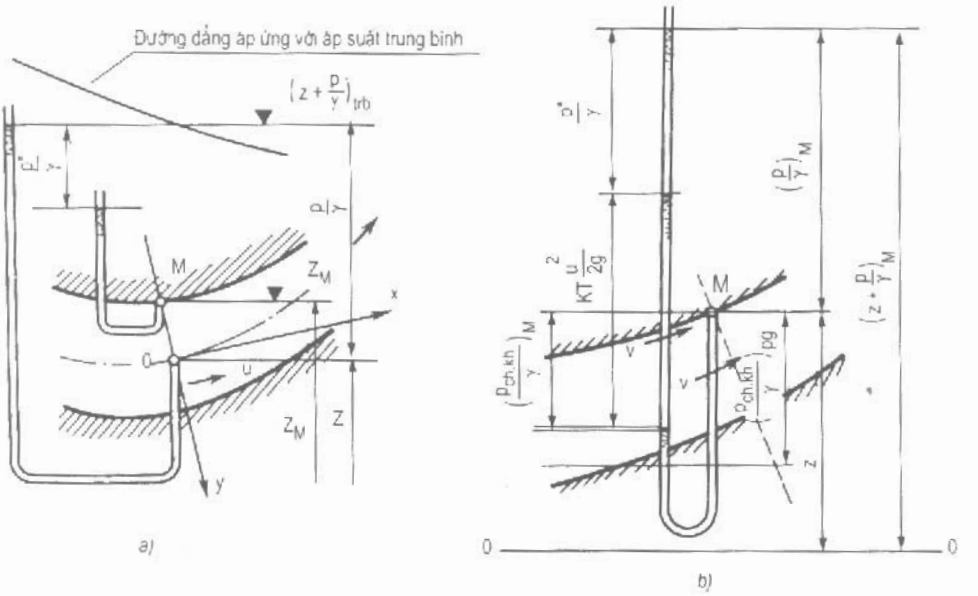
Khi thiết kế đường dẫn nước có áp (đường xả nước, đường tháo nước), để xác định các bán kính cong cho phép của bề mặt trong (từ điều kiện giới hạn chân không và xâm thực) tại mặt cắt chỗ ngoặt ta xác định các trị số áp suất và vận tốc cục bộ của dòng chảy.

a) Áp suất tại mặt cắt chỗ ngoặt và tính toán áp suất đó

Áp suất lên thành tại chỗ ngoặt có thể xem là tổng các thành phần áp suất thủy tĩnh và thủy động. Trị số của áp suất thủy động do gia tốc pháp quyết định.

Với cao trình z_M đã cho của điểm đang xét M trên bề mặt cong của đường dẫn, áp suất điểm bằng (hình 10.43a):

$$\left(\frac{p}{\gamma}\right)_M = \left(z + \frac{p}{\gamma}\right)_{tb} - z_M \pm \frac{p^*}{\gamma} \qquad (10\text{-}100)$$



Hình 10.43

Cột nước đo áp trung bình tại mặt cắt đang xét được tính theo phương trình Becnuli viết cho vận tốc trung bình tại mặt cắt. Khi các tâm cong của các thành của đường dẫn trùng nhau, áp suất thủy động có thể xác định theo công thức (10-78). Khi các tâm cong của các thành của đường dẫn trùng nhau, áp suất thủy động có thể xác định theo công thức (10-78). Khi các tâm cong của các bề mặt trong của

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

đường dẫn không trùng nhau, trị số p^*/γ trên thành với bán kính $R_2(y = h/2)$ được xác định theo công thức:

$$\frac{p^*}{\gamma} = \frac{v^2}{g\left[1+\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right)\frac{h}{24}\right]^2}\left[\left(\frac{1}{R_1}+\frac{3}{R_2}\right)\frac{h}{8} - \left(\frac{1}{R_1^2}+\frac{1}{R_2^2}\right)\frac{5h^2}{64} - \frac{3h^2}{32R_1R_2} + \left(\frac{1}{R_1^2}-\frac{1}{R_2^2}\right)\frac{h^2}{16}\right] \quad (10\text{-}101)$$

Áp suất thuỷ động trên thành với bán kính $R_1(y = -h/2)$

$$\frac{p^*}{\gamma} = \frac{-v^2}{g\left[1+\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right)\frac{h}{24}\right]^2}\left[\left(\frac{3}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)\frac{h}{8} + \left(\frac{1}{R_1^2}+\frac{1}{R_2^2}\right)\frac{5h^2}{64} + \frac{3h^2}{32R_1R_2} + \left(\frac{1}{R_1^2}-\frac{1}{R_2^2}\right)\frac{h^2}{16}\right] \quad (10\text{-}102)$$

Trong các công thức này v - vận tốc trung bình tại mặt cắt đang xét; h - khoảng cách giữa các bề mặt cong của mặt cắt; R_1, R_2 - bán kính cong của thành trong và ngoài.

b) Tính toán vận tốc cục bộ tại các mặt cắt chữ nhật ở chỗ ngoặt

Vận tốc trung bình tại điểm bất kì của mặt cắt ở chỗ ngoặt có thể tính theo công thức bán thực nghiệm sau:

$$u = A\frac{v\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right)\frac{y^2}{2h} - \left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)\frac{y}{2}}{1+\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right)\frac{h}{24}} \times \left[1-\left(\frac{2y}{h}\right)^2\right]^B \quad (10\text{-}103)$$

trong đó: v - vận tốc trung bình tại mặt cắt đang xét;

y - khoảng cách từ trục đến điểm đang xét (hình 10.43b);

$$A = 1 + \frac{0,125}{1+10h/R_o};$$

$$B = 0,125 - 0,0833(h/R_o)^{0,113}$$

R_o - bán kính cong của trục đường dẫn nước).

Giá trị của hệ số A và chỉ số mũ B ghi trong bảng 10.5.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Công thức (10-103) không xét ảnh hưởng của chiều cao tương đối của ống dẫn và hệ số ma sát đến sự phân bố vận tốc.

Bảng 10.5. Giá trị hệ số A và chỉ số mũ B trong công thức (10-103)

h/R_0	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
A	1,125	1,162	1,042	1,031	1,025	1,021	1,018	1,016	1,014	1,012	1,011
B	0,125	0,060	0,056	0,052	0,050	0,048	0,046	0,045	0,044	0,043	0,042

Ghi chú: Nếu bán kính của một trong các bề mặt là vô hạn thì trong tính toán ta đưa vào giá trị trung bình của bán kính cong $\frac{1}{R_0} = \frac{1/R + 0}{2}$.

c) Chân không tại mặt cắt của các đường dẫn nước có áp. Trị số cho phép của nó từ điều kiện hạn chế xâm thực

Xâm thực xuất hiện khi áp suất tại điểm đang xét thấp hơn áp suất hơi nước bão hòa $(p/\gamma)_{b.h}$. Chú ý đến độ hạ thấp của áp suất khí quyển theo cao trình tuyệt đối của chỗ đo là ▼/900 và có thể đến 0,39m tùy theo các điều kiện khí tượng, có thể xác định đại lượng chân không phân giới ứng với áp suất hơi nước bão hòa theo công thức:

$$\left(\frac{p_{ck}}{\gamma}\right) = 10,33 - \frac{\blacktriangledown}{900} - 0,39 - \left(\frac{p}{\gamma}\right)_{b.h} = 9,94 - \frac{\blacktriangledown}{900} - \left(\frac{p}{\gamma}\right)_{b.h}, \text{m} \qquad (10\text{-}104)$$

trong đó 10,33m - độ chân không vật lí có thể.

Xâm thực sẽ không xuất hiện, nếu chân không bé hơn giá trị phân giới của nó, hoặc là nói cách khác, áp suất dư lớn hơn áp suất phân giới:

$$\frac{p_{ck}}{\gamma} < \left(\frac{p_{ck}}{\gamma}\right)_{pg} \qquad (10\text{-}105)$$

$$\frac{p}{\gamma} > \left(\frac{p}{\gamma}\right)_{pg} \qquad (10\text{-}105')$$

Trong mặt cắt tại chỗ ngoặt của đường dẫn nước có áp, áp suất tức thời tại điểm M nào đấy trên trần, trên thành hoặc đáy có thể xác định theo công thức (hình 10.43b).

$$\left(\frac{p}{\gamma}\right)_M = \left(z + \frac{p}{\gamma}\right)_{th} - z_M \pm \frac{p^*}{\gamma} - K\tau\frac{u^2}{2g} \mp \delta\frac{v^2}{2g} \qquad (10\text{-}106)$$

trong đó:

$\left(z + \frac{p}{\gamma}\right)_{th}$ - cột nước đo áp ứng với áp suất trung bình tại mặt cắt (được xác định từ phương trình Becnui);

K, τ - các hệ số tính đến độ hạ thấp áp suất khi dòng chảy trên đoạn gồ ghề;

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

δ - thành phần mạch động của áp suất biểu thị bằng một phần cột nước vận tốc;

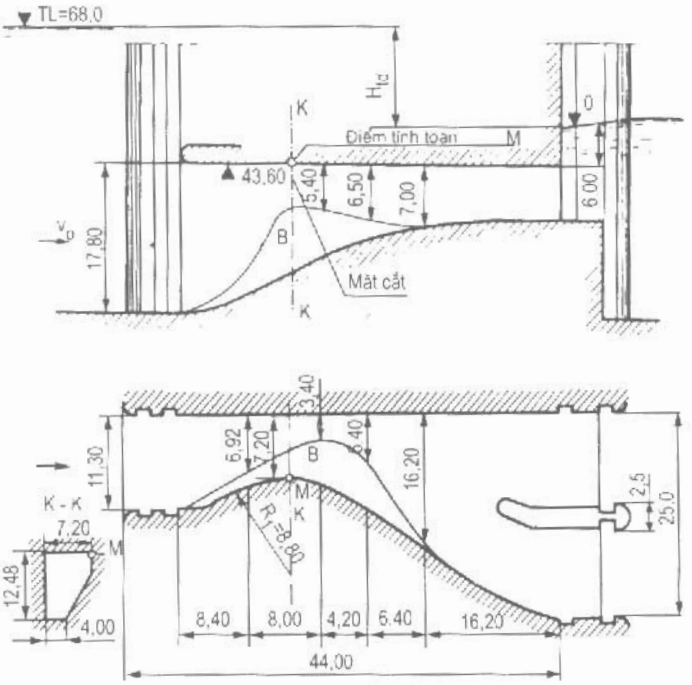
u - vận tốc cục bộ (vận tốc dòng chảy trên bề mặt không phẳng của đường dẫn nước);

v - vận tốc trung bình.

Giá trị của hệ số K và τ có thể tìm trong các công trình chuyên đề[1]; khi chảy bao không tách khỏi thành có thể lấy δ = 0,1 ÷ 0,2 khi dòng chảy tách khỏi thành δ = 0,3 ÷ 0,6. Áp suất thủy động p*/γ và vận tốc chảy trên mặt không phẳng u có thể xác định theo các công thức (10-78), (10-101) ÷ (10-103).

Tính toán này là gần đúng, sơ bộ.

Thí dụ: Đánh giá khả năng xuất hiện xâm thực tại mặt cắt khóa của đường dẫn có áp khuếch tán (hình 10.44) của trạm thủy điện kiểu kết hợp. Các số liệu ban đầu: diện tích mặt cắt ngang $\omega_v = 200m^2$; $\omega_{kh} = 78,1m^2$, $\omega_{tn} = 135m^2$; $R = 8,8m^2$; $R_2 = \infty$; khoảng cách giữa các thành tại mặt khóa b = 7,20m.



Hình 10.44

Cao trình trần của đường dẫn nước ▼TR = 43,6m, cao trình thượng lưu ▼TL = 68,0m mực nước mặt thoáng tại tuyến lỗ ▼lỗ = 55,80m (tính theo mục 10.18b), cột nước tác dụng H_{td} = ▼TL − ▼lỗ = 12,20m.

---

[1] Rôđanốp N. P., Salnhep K. K. và các tác giả khác: Vôrôbiep G. A. - "Thông báo của VNHIIK", 1965, tập 78; Xlixki X. M. Thủy lực của nhà máy thủy điện. "Năng lượng", 1970, trang 131.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Lưu lượng của đường xả nước Q_{dx} = 1360 m^3/s; vận tốc đến gần tại thượng lưu v_o= 0,4 m/s; v_v = 6,8 m/s.

Giải:

1- Ta xác định cột nước đo áp trung bình tại mặt cắt khóa (không kể đến ảnh hưởng của độ cong của đường dẫn nước). Muốn thế, ta tính tổn thất tổng cộng trên đoạn từ mặt cắt vào đến mặt cắt khóa.

Hệ số sức cản tại chỗ vào, tính với cột nước vận tốc tại mặt cắt vào ζ_v = 0,9[1]. Tổn thất cột nước tại chỗ vào $h_{wv} = 0,9.6,8^2/19,62 = 2,1$m. Ta tính được hệ số sức cản của đoạn từ chỗ vào đến mặt cắt khóa, mà chiều dài là l_v = 12,4m, sau khi đưa vào tính toán một hình nón tương đương với góc tại đỉnh:

$$tg\frac{\beta}{2} = \frac{\sqrt{\omega_v} - \sqrt{\omega_{kh}}}{l_v\sqrt{\pi}} = \frac{\sqrt{200} - \sqrt{78,1}}{12,4\sqrt{2.14}} = 0,282 \quad (\beta = 27^o)$$

Hệ số sức cản của hình nón chuyển tiếp hội tụ $\zeta_{nón}$ (mục 4.4) khi $\beta = 27^o$ = 2,3. Tổn thất cột nước trên đoạn đang xét bằng:

$$h_{nón} = \zeta_{nón}\frac{v_{kh}^2}{2g} = 0,23\frac{17,4^2}{19,62} = 3,5m$$

Tổn thất tổng cộng từ thượng lưu đến mặt cắt khóa:

$$\Sigma h_w = h_v + h_{nón} = 2,1 + 3,5 = 5,6m$$

Từ phương trình Becnuli đối với mặt cắt ở thượng lưu và mặt cắt khóa, ta xác định cột nước đo áp trung bình tại mặt cắt khóa:

$$\left(z + \frac{p}{\gamma}\right)_o + \frac{v_o^2}{2g} = \left(z + \frac{p}{\gamma}\right)_{tb} = \frac{v_{kh}^2}{2g} + \Sigma h_w$$

$$68,0 + 0,01 = (z + p/\gamma)_{th} + 15,4 + 5,6$$

Do đó: $(z + p/\gamma)_{tb} = 47,0m$

2- Áp suất thủy động tại mặt cắt khóa ở điểm M trên trần được xác định theo công thức (10-102) (thành của bán kính cong bé). Khi thay giá trị vận tốc trung bình v_{kh} = 1360/78,1 = 17,4 m/s, khoảng cách giữa các thành b = 7,20m; giá trị $1/R_1 = 1/8,8 = 0,113\ m^{-1}$ và $1/R_2 = 1/\infty = 0$ vào công thức này, ta được:

$$(p^*/\gamma)_M = -0,0382v_{kh}^2 = -0,0382(1360/78,1)^2 = 11,6m$$

---

[1] Idensic I. E. Cẩm nang sức cản thủy lực, NXBNL, 1960 (biểu đồ 3.12 trên trang 90).

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

3- Áp suất cần tìm tại điểm M (z = ▼TR = 43,6m)

$$\left(\frac{p^*}{\gamma}\right)_M = \left(z + \frac{p}{\gamma}\right)_{th} - z + \left(\frac{p^*}{\gamma}\right)_M = 47,0 - 43,6 - 11,6 = -8,2m$$

4- Để đánh giá khả năng xuất hiện xâm thực, ta dùng công thức (10-106), sau khi so sánh áp suất đã tìm được với giá trị phân giới của chúng được tính theo công thức (10-105'). Vận tốc u trong công thức (10-106) được xác định theo công thức (10-103) khi y = h/2 = 3,60m.

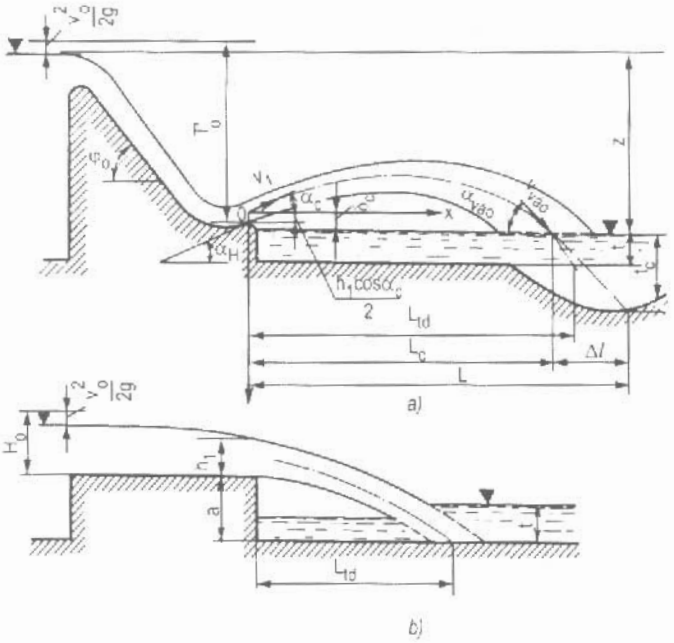
G. NỐI TIẾP THƯỢNG HẠ LƯU CỦA LUỒNG PHUN TỰ DO

10.20 ĐỘ BAY XA CỦA LUỒNG CHẢY

a) Tính toán (không xét đến ảnh hưởng của hàm khí) sự phân rã luồng chảy và chiều sâu hạ lưu

Độ bay xa $L = L_o$, $L = L_h$, $L = l_{hx}$ (đến điểm gặp với mặt thoáng, với đáy trước khi xói hoặc với đáy của hố xói của luồng chảy phun từ mũi ở cuối đập tràn, dốc nước hoặc lỗ của đường xả nước có áp, có thể xác định theo công thức (hình 10.45a):

$$L = \frac{v_1^2 \cos\alpha_c}{g}\left(\sin\alpha_c + \sqrt{\sin^2\alpha_c + \frac{2gy}{v_1^2}}\right) \qquad (10\text{-}107)$$



Hình 10.45

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Khi góc nghiêng của trục luồng chảy tại tuyến có bậc mà bằng không, công thức của độ bay xa có dạng:

$$L = \frac{v_1^2}{g}\sqrt{\frac{2gy}{v_1^2}} = v_1\sqrt{\frac{2y}{g}} \qquad (10\text{-}107')$$

trong các công thức này: v_1 - vận tốc trung bình của luồng chảy tại tuyến có bậc; α_c - góc nghiêng của trục luồng chảy và đường nằm ngang tại tuyến có bậc (mục 10.21). Trong trường hợp tổng quát $\alpha_c \neq \alpha_m$; trong đó α_m - góc nghiêng của mũi; y - độ cao của tâm mặt cắt của luồng chảy tại tuyến có bậc so với chỗ luồng chảy đổ xuống. Khi luồng chảy đổ xuống mặt thoáng $y = \delta_c$; đổ xuống đáy trước chỗ xói $y = t + \delta_c$; đổ vào hố xói $y = t_x + \delta_c$.

Vận tốc v_1 của luồng không ngập được xác định theo công thức:

$$v_1 = \varphi\sqrt{2g(T_o' - 0,5h_1\cos\alpha_c)} \qquad (10\text{-}108)$$

trong đó: T' - độ cao của cao trình thượng lưu (có xét đến cột nước vận tốc) so với mép mũi tràn;

h_1 - chiều sâu của luồng tại tuyến có bậc;

φ - hệ số vận tốc.

Độ bay xa của luồng phun tự do từ bậc của đập tràn đỉnh rộng (hình 10.45b) (đến giao điểm của trục của luồng chảy với đáy), có thể tính theo (10-107) hoặc theo:

$$L = 4,26m.\sqrt{H_o(a + 0,24H_o)} \quad (m) \qquad (10\text{-}109)$$

Công thức trên, khi hệ số lưu lượng m = 0,385 sẽ biến thành công thức của M. Đ. Tsectôuxôp:

$$L = 1,64\sqrt{H_o(a + 0,24H_o)} \quad (m) \qquad (10\text{-}110)$$

trong đó: a - độ cao của ngưỡng so với chỗ luồng chảy rơi xuống (trong trường hợp đang xét là chiều cao ngưỡng).

Độ bay xa của luồng chảy phụ thuộc đáng kể vào giá trị của hệ số vận tốc và góc nghiêng của luồng tại tuyến có bậc.

Hệ số vận tốc φ của đập tràn mặt cắt thực dụng có thể sơ bộ tìm theo công thức của G. P. Xkrepcôp:

$$\varphi = 1 - 0,0155\frac{T' - H}{H} \qquad (10\text{-}111)$$

trong đó: T' - độ cao của cao trình thượng lưu so với mép mũi tràn;

H - cột nước trên đỉnh đập tràn.

Đối với đường xả nước có áp có thể lấy $\varphi = \mu$.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Góc mở rộng của luồng chảy (về một phía) trong bình đồ, có thể tính theo công thức[1]:

$$tg\beta = \frac{h_l\sqrt{1+\frac{v_c^2}{gR}}}{v_c} \qquad (10\text{-}112)$$

Chiều rộng của luồng tại chỗ rơi của nó

$$B_c = b + 2L_o tg\beta \qquad (10\text{-}113)$$

trong đó: b - chiều rộng tại tuyến có bậc.

Khi chiều sâu hạ lưu bé hơn chiều sâu nối tiếp với chiều sâu co hẹp thì sẽ hình thành nước nhảy xa.

b) Tính độ bay xa của luồng chảy có xét đến ảnh hưởng của chiều sâu hạ lưu

Luồng chảy, sau khi đến mặt thoáng hạ lưu sẽ tiếp tục chuyển động theo đường thẳng là đường tiếp tuyến với giao điểm của trục của nó và mặt thoáng. Vì vậy khi chiều sâu hạ lưu $t > \delta_c$, thì độ bay xa của luồng chảy tăng lên khá nhiều.

Độ bay xa của luồng chảy trên đáy hố xói, có xét đến chuyển động của nó theo đường thẳng (hình 10.45a), bằng[2]

$$L_{hx} = L_o + \Delta l \qquad (10\text{-}114)$$

$$\Delta l = \frac{t_x}{tg\alpha_v} \qquad (10\text{-}115)$$

Tang của góc α_v, khi luồng chảy gặp mặt thoáng hạ lưu được xác định theo công thức:

$$tg\alpha_v = \sqrt{tg^2\alpha_c + \frac{2g\delta_c}{v_1^2\cos^2\alpha_c}} \qquad (10\text{-}116)$$

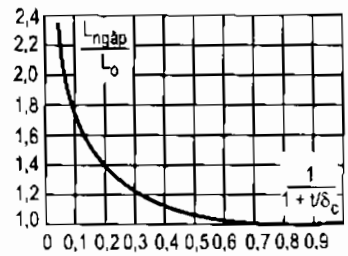
mà khi $\alpha_c = 0$ (khi gặp bậc luồng chảy có phương nằm ngang) sẽ có dạng:

$$tg\alpha_v = \sqrt{2g\delta_c / v_1} \qquad (10\text{-}117)$$

Khi tính L_b, trước hết theo (10-119) ta xác định t_x, sau đó khi $y = \delta_c$ ta tính L_o, theo (10-115) tìm Δl và tiếp theo dùng (10-114) ta tìm $L = L_b$.

Khi tính $L = L_b$ (không có hố xói) trong công thức (10-115) lấy $t_x = t$.

Khi $\alpha_c = 0$, ảnh hưởng ngập của luồng chảy đến độ rơi xa của nó có thể xác định bằng đồ thị trên



Hình 10.46

[1] Buacôp A. F. "Thông báo của VNHIIK", 1963, tập 72.

[2] Eliaxbec X. Ia. "Xây dựng kĩ thuật thủy lợi", 1967, No 3.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

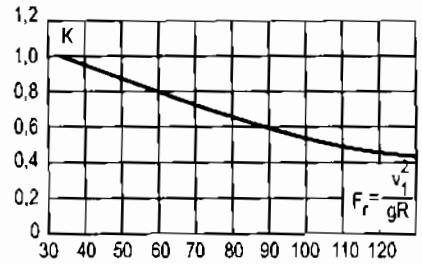
hình 10.46, trong đó L_{ng} - độ bay xa của luồng chảy trên đáy hoặc trong hố xói, có xét đến ảnh hưởng của ngập, L - cũng vậy nhưng không xét đến ảnh hưởng của ngập.

Khi tính chiều sâu trong hố xói theo công thức (10-119), vận tốc vào của luồng chảy khi gặp mặt thoáng

$$u_v = \varphi\sqrt{2gz} \qquad (10\text{-}118).$$

c) Ảnh hưởng của hàm khí và sự phân rã dòng chảy đến độ bay xa của nó

Luồng chảy trong khi bay sẽ được bão hòa không khí và càng bị phá hoại nhiều khi vận tốc càng lớn, luồng chảy tại mặt cắt đầu càng mỏng và mặt cắt đang xét càng xa bậc. Theo số liệu của N. B. Ixatsencô và A. G. Tsanhisvili, I. A. Kamenhep[1], mật độ của không khí trong luồng $S = 1 - \gamma_{hh}/\gamma_{nước}$ tại khoảng cách $x/h_1 = 20$ đạt đến đại lượng gần 0,8.



Hình 10.47

Để xét đến ảnh hưởng của hàm khí và sự phân rã của luồng chảy đến độ bay xa của nó, nên nhân trị số L tính theo các công thức của mục trước với hệ số hiệu chỉnh $k < 1$, mà giá trị được xác định theo số Frud viết cho mặt cắt luồng chảy tại tuyến có bậc (hình 10.47)[2].

d) Chiều sâu xói của luồng chảy phun tự do

Đối với đất không dính, Tx. E. Mirtxkhulava đề nghị dùng công thức sau để xác định chiều sâu hố xói hình thành tại chỗ rơi của luồng chảy phun[3]:

$$t_x = 2,49\left(\frac{\eta}{W} - \frac{2,5}{u_v}\right)\frac{\sin\alpha_v}{1 - 0,175\,\mathrm{ctg}\alpha_v} + 0,25t \qquad (10\text{-}119)$$

trong đó:

u_v - vận tốc luồng chảy tại mặt cắt vào khi nó gặp mặt thoáng hạ lưu (xác định theo công thức (10-118));

α_v - góc vào của luồng chảy khi gặp mặt thoáng (xác định theo công thức (10-116));

t - chiều sâu ở hạ lưu sau hố xói;

η - hệ số chuyển tiếp từ vận tốc trung bình sang vận tốc tức thời: $\eta = 1,5 \div 2$;

---

(1) Ixatsencô N. B. Tsanhisvili, A. G. - "Thông báo VNHIIK" tập 87, 1968; Kamenhep I. A. "Xây dựng kĩ thuật thủy lợi", 1966, N°3; 1964, N°8.

(2) Các chỉ dẫn tạm thời về tính toán thủy lực các đường xả nước mặt đập trọng lực cao có mũi phun. "Năng lượng", 1965 (VNHIIK).

(3) Mirxkhulava Tx. E. Xói lòng dẫn và phương pháp đánh giá tính ổn định của chúng, "Bông lúa", 1967, trang 152.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

W - độ thô thủy lực của đất:

$$W = \sqrt{\frac{2g(\gamma_{đất} - \gamma_o)d}{1,75.\gamma_o}} \qquad (10\text{-}120)$$

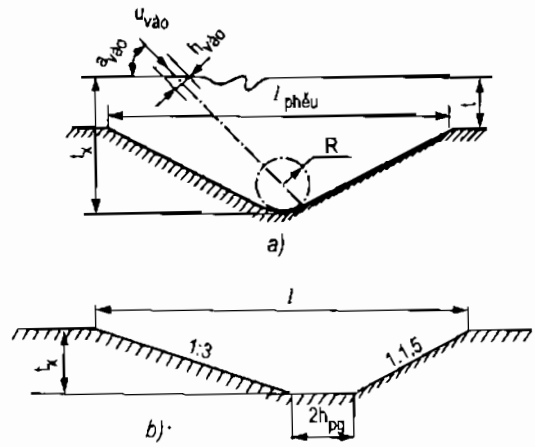
trong đó:

d - đường kính của hạt đất ứng với thành phần hạt, mà hạt bé hơn nó trong đất chiếm 90%;

$\gamma_{đất}$, γ_o - trọng lượng riêng (tương đối) của vật liệu và nước có xét đến lượng không khí; $\gamma_o = (1 - S)$, mật độ không khí trong luồng chảy S bằng khoảng 0,8.

Để tính gần đúng có thể dùng công thức (10-119) để xác định chiều sâu trong hố xói của đá (xuất phát từ giả thiết là đá gồm các thành phần có kích thước d và lực dính giữa chúng đã bị phá hoại do tác dụng của luồng chảy).

Để vẽ mặt cắt phễu trong đất không dính, M. A. Mikhalép[1] đề nghị trên trục luồng chảy, thấp hơn mực nước, vẽ một vòng tròn tiếp tuyến với đường nằm ngang, đi qua điểm xói lớn nhất và với bán kính:



Hình 10.48

$$R = 0,215t_x ctg\alpha_v \qquad (10\text{-}121)$$

sau đó, với mái dốc tự nhiên, vẽ hai đường tiếp tuyến với vòng tròn. Hai đường đó chính là đường mép của phễu (hình 10.48a).

Theo G. A. Yuđixki, chiều dài của phễu trong đá có thể tính theo công thức sau (theo phương dòng chảy):

$$l = 4,5t_x + 2h_{pg} \qquad (10\text{-}122)$$

Mái dốc phía trên của hố xói, ông đề nghị lấy bằng 1 : 3, phía dưới 1 : 1,5 (hình 10.48b); h_{pg} - chiều sâu phân giới.

10.21. GÓC NGHIÊNG CỦA LUỒNG CHẢY KHÔNG NGẬP TẠI TUYẾN CÓ BẬC

Góc nghiêng so với đường nằm ngang của luồng chảy đi từ mũi đến bậc có ảnh hưởng lớn đến độ bay xa của nó. Trị số của góc ấy có thể xác định bằng đồ thị

---

[1] Mikhalep M. A. "Xây dựng kĩ thuật thủy lợi", 1960, N°9.

https://tieulun.hopto.org

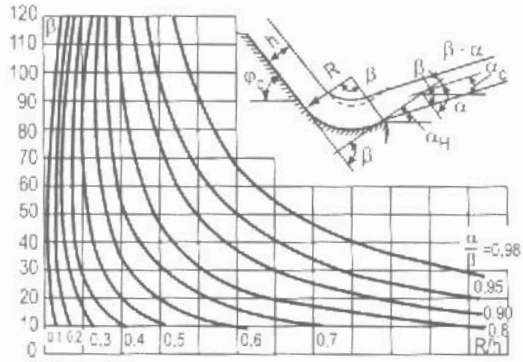
www.thuvien247.net

(hình 10.49a)[1]. Trên đồ thị, β - góc giữa mặt tràn và tiếp tuyến với mũi tại tuyến mép tràn; α - góc giữa mặt phẳng đó và phương của trục luồng.

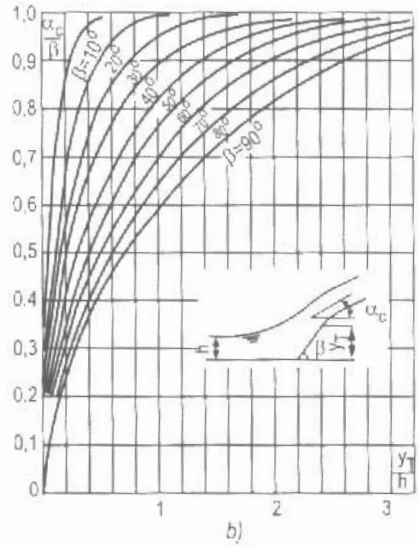
Góc cần tìm α_t được xác định khi đã cho $\beta = \varphi + \alpha_m$ và R/h :

$$\alpha_t = \alpha_m - (\beta - \alpha)$$

Các góc α_t và α_m trong trường hợp này được lấy với dấu cộng nếu là dốc ngược lên trên, với dấu trừ - dốc thuận (xuống dưới).



a)



b)

Hình 10.49

Trên hình 10.49b đã cho đồ thị để xác định góc nghiêng α_t của luồng chảy, khi mặt phẳng của nó có độ nghiêng với góc β (độ nghiêng của dòng chảy do tường hoặc thiết bị phân dòng tại cuối côngxôn hoặc mũi).

Các đồ thị cho phép ta tìm được các kích thước của mũi hoặc tường, sao cho các kích thước đó bảo đảm tại mặt cắt đầu có góc nghiêng đã cho giữa đường nằm ngang với trục luồng chảy.

Thí dụ: Xác định góc nghiêng với đường nằm ngang của trục luồng chảy đi từ mũi. Góc nghiêng với đường nằm ngang của phần tràn φ = 40°; của mũi α_m = 0°, R/h = 6, trong đó h - chiều sâu của luồng trước chỗ ngoặt.

Giải: $\beta = \varphi + \alpha_m = 40 + 0 = 40°$. Theo đồ thị trên hình 10.49a, khi R/h = 6 và β = 40° ta xác định α/β = 0,95. Do đó α = 0,95. β = 38°. Góc cần tìm $\alpha_t = \alpha_m - \beta + \alpha$ = 0 – 40 + 38 = –2°. Luồng chảy nghiêng xuống phía dưới.

---

[1] Oochop V. T. "Thông báo của VNIIIK", 1968, tập 87; "Thông báo của các trường đại học", "Năng lượng", 1968, N°12.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

H. NỐI TIẾP THƯỢNG HẠ LƯU CỦA LUỒNG CHẢY NGẬP SAU ĐẬP CÓ BẬC VÀ TRẠM THỦY ĐIỆN KẾT HỢP

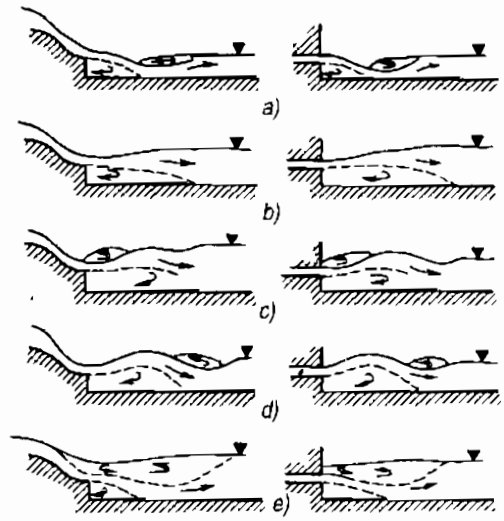
10.22. CÁC TRẠNG THÁI PHÂN GIỚI VÀ CÁCH TÍNH TOÁN CHUNG

a) Các trạng thái ở hạ lưu

Khi xả dòng chảy qua công trình xả có bậc, tùy theo chiều cao bậc, mực nước ở hạ lưu, trị số lưu lượng, vận tốc và góc nghiêng của luồng chảy tại tuyến có bậc ở hạ lưu mà có thể xảy ra trạng thái chảy đáy hoặc chảy mặt.

Sự thay đổi các trạng thái xảy ra qua trạng thái phân giới. Các trạng thái phân giới quan trọng là (hình 10.50):

Trạng thái phân giới thứ nhất (I) - đặc trưng bằng trạng thái chảy đáy (hình 10.50a) và trạng thái chảy mặt với nước nhảy không ngập (hình 10.50b). Ta phân biệt ranh giới dưới và trên của trạng thái phân giới thứ nhất, tương ứng với sự chuyển tiếp từ nước chảy đáy sang nước chảy mặt (ranh giới dưới, chiều sâu ở hạ lưu t'_{pg1}) và từ chảy mặt sang chảy đáy (ranh giới trên $t''_{pg1} > t'_{pg1}$).



Hình 10.50

Trạng thái phân giới thứ nhất được đặc trưng bằng sự thay đổi tuần hoàn các trạng thái chảy mặt và chảy đáy.

Trạng thái phân giới thứ hai (II) - được đặc trưng bằng các trạng thái mặt với luồng chảy không ngập (hình 10.50b) và luồng chảy ngập (hình 10.50c). Trạng thái được xác định thực sự duy nhất. Khi chảy từ xả nước có áp với các lỗ xả nước ở trên bậc, trạng thái phân giới thứ hai thực chất là ứng với thời điểm ngập của lỗ xả nước (mép trên của chúng).

Trạng thái phân giới thứ ba (III) - đặc trưng trạng thái chảy mặt với luồng chảy không ngập và chảy mặt - đáy (hình 10.50d). Ranh giới dưới và trên của trạng thái thường trùng nhau.

Trạng thái phân giới thứ tư (IV) - đặc trưng bằng sự thay thế trạng thái chảy mặt bằng chảy đáy phục hồi trong đó luồng chảy ngập trên cả chiều dài của chúng (và cả trên bậc) (hình 10.50e) hoặc bằng sự thay thế trạng thái chảy đáy phục hồi bằng chảy mặt.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Khi tính toán chiều sâu phân giới xác định sự thay thế các trạng thái sau trạm thủy điện kết hợp, ảnh hưởng của lưu lượng tuabin sẽ được xét đến trong các công thức bảng 10.6 bằng số hạng A.

Tính toán các chiều sâu phân giới (khi chiều sâu ở hạ lưu và lưu lượng đã cho trước) là xác định chiều sâu t_{pg} mà ở đó xuất hiện sự thay đổi các trạng thái. Khi lưu lượng và mực nước hạ lưu không đổi trong các điều kiện thực tế, ta nên vẽ đồ thị $a_i = f(q)$ bằng kết quả tính toán, trong đó a_i - chiều cao bậc ứng với trạng thái nối tiếp thượng hạ lưu đang xét và $t_{pg} = f(q)$. Các đồ thị này cho ta toàn bộ hình ảnh về các trạng thái thủy lực sau công trình có bậc.

b) Tính chiều cao bậc để đảm bảo trạng thái cho trước[1]

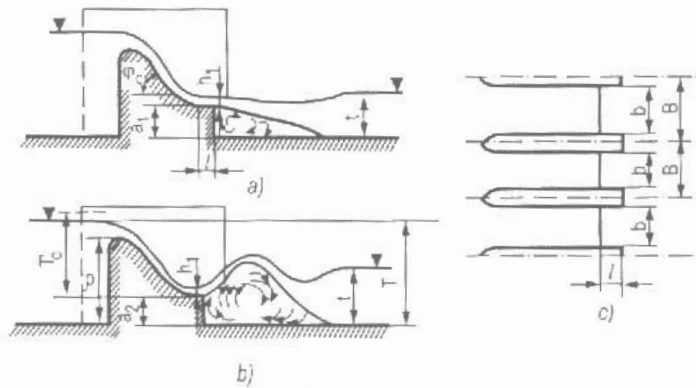
Khi đã cho chiều sâu mực nước hạ lưu và lưu lượng để bảo đảm trạng thái chảy mặt với nước nhảy không ngập (hình 10.51a), chiều cao bậc phải bé hơn 7 ÷ 10% so với đại lượng:

$$a_1 = h_{opg} - 2h_1 - t + 2\sqrt{t^2 - A} \qquad (10\text{-}123)$$

Để có trạng thái chảy mặt với nước nhảy ngập, chiều cao bậc phải nhỏ hơn 5% so với đại lượng:

$$a_2 = -h_{opg} + \sqrt{(h_{opg} - h_1)h_{opg} + t^2 - A} \qquad (10\text{-}124)$$

Với chiều cao bậc a_1, sẽ thấy có sự thay thế trạng thái chảy đáy bằng chảy mặt và ngược lại (hình 10.51a). Với chiều cao bậc a_2, ta có trạng thái chảy như trên hình 10.51b. Khi chiều cao bậc nhỏ hơn a_2, luồng chảy sẽ bị ngập (hình 10.51c).



Hình 10.51

[1] Xlixki X. M. "Công trình MEI". Phần năng lượng nước, 1961. N°2.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Trong các công thức nói trên:

$$h_{opg} = \frac{1}{3}\left(1 + \sqrt{6Fr + 1}\right)h_1 \qquad (10\text{-}125)$$

$$A = 2Frh_1^3\beta\left(\frac{\alpha_1}{h_1} - \frac{\alpha_t\beta}{t_2}\right) \qquad (10\text{-}126)$$

$\beta = b/B$ (hình 10.51c):

$$Fr = \frac{q^2}{gh_1^3} = \left(\frac{h_{pg}}{h_1}\right)^3$$

trong đó: h_1 - chiều sâu của luồng chảy trên bậc được tính theo các đồ thị hoặc các công thức chiều sâu tại mặt cắt co hẹp. Khi chảy từ đường xả nước có áp; h_1 - chiều cao của lỗ xả nước; $\alpha_1 = 1$, $\alpha_t = 1{,}04$, hệ số α_t cũng có thể lấy bằng 1.

Thí dụ: Cho $q = 11{,}2\ m^3/s.m$; $t = 11{,}0m$; $T_o = 23{,}4m$. Xác định chiều cao của bậc, mà với nó sẽ hình thành trạng thái chảy mặt với luồng chảy ngập, $\beta = 1$.

Giải:

1- Ta cho chiều cao bậc một giá trị bất kì (bé hơn chiều sâu t một ít). Giả thiết $a = 10{,}0m$, do đó $T_o' = T_o - a = 23{,}4 - 10{,}0 = 13{,}4m$. Chiều sâu phân giới:

$$h_{pg} = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{11{,}2^2}{9{,}81}} = 2{,}34m$$

Khi hệ số vận tốc $\varphi = 0{,}95$, ta xác định được chiều sâu tại mũi $h_1 = 0{,}75m$ (theo công thức chiều sâu tại mặt cắt co hẹp). Số Frud $(h_{pg}/h_1)^3 = 30{,}37$.

2- Theo công thức (10-125) ta xác định được

$$h_{opg} = \frac{1}{3}\left(1 + \sqrt{6.30{,}37 + 1}\right).0{,}75 = 3{,}6m$$

Theo công thức (10-126) khi $\alpha_1 = \alpha_t = 1$ và $\beta = 1$

$$A = 2.30{,}37.0{,}75^3\left(\frac{1}{0{,}75} \cdot \frac{1}{11{,}0}\right) = 2{,}98m^2$$

Theo công thức (10-123):

$$a_1 = 3{,}6 - 2.0{,}75 - 11{,}0 + 2\sqrt{11^2 - 2{,}98} = 12{,}7m$$

3- Trong lần tính toán gần đúng thứ hai (với giá trị a_1 mới tìm được) cũng cho ta các giá trị cần tìm tương tự như trên.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

c) Chiều cao tối thiểu của bậc và các kích thước của mũi bảo đảm sự hình thành trạng thái chảy mặt

Với trị số lưu lượng đã cho, mặc dù có bậc, nhưng nếu chiều cao bậc bé hoặc độ nghiêng của mũi về phía hạ lưu lớn thì vẫn không bảo đảm có trạng thái chảy mặt.

Chiều cao bậc bé nhất để bảo đảm hình thành trạng thái chảy mặt, có thể xác định được theo công thức của P. M. Xtepanôp[1]:

$$a_{min} = 4,05\sqrt[3]{(Fr_1 - \eta)h_b} \qquad (10\text{-}127)$$

trong đó:

$\eta = -0,4\alpha + 8,4$;

α - góc nghiêng của luồng chảy tại tuyến có bậc (độ).

Công thức trên dùng được khi góc nghiêng của mặt thoáng của luồng tại tuyến có bậc bằng góc nghiêng của mũi ($\alpha_{b.m} = \alpha_m$) và $15 < Fr_1 < 50$. Số Frud được tính theo chiều sâu của luồng trên bậc.

Khi phương của vận tốc dòng chảy nằm ngang tại tuyến có bậc có thể dùng công thức của M. F. Xklatnhep[2]:

$$a_{min} = 2,7h_{pg} - 4,32h_1 \qquad (10\text{-}128)$$

Khi vị trí của đáy hạ lưu không đổi, h_1 phụ thuộc vào đại lượng a_m cần tìm, do đó tính toán được tiến hành bằng phương pháp thử dần.

Khi góc nghiêng của mặt tràn φ_c lớn hơn $35 \div 40^0$, thì đối với sự hình thành trạng thái chảy mặt cần phải có chiều dài mũi (hình 10.51a) không bé hơn $l \approx 1,6h_1$. Ảnh hưởng của các kích thước của mũi đến góc tới bậc của luồng không ngập có thể đánh giá được bằng đồ thị trên hình 10.49.

d) Tính toán chiều sâu phân giới ở hạ lưu ứng với lúc thay đổi trạng thái

Tính toán các trạng thái phân giới I, II và III trong trường hợp tổng quát (có lưu lượng bổ sung dưới luồng chảy là chế độ xảy ra ở trạm thủy điện kết hợp và ở đập hai tầng) có thể tiến hành theo các công thức của X. M. Xlixki. Các công thức này cũng dùng để tính toán các trạng thái phân giới trong các điều kiện không gian (bảng 10.6).

---

[1] Xtepanôp P. M. - "Thông báo của các trường cao đẳng. Năng lượng", 1967. N°7.

[2] Xklatnhep M. F. "Thông báo của VNHIIK", 1958, tập 58.

https://tieulun.hopto.org

Bảng 10.6. Các công thức để tính trạng thái bề mặt phân giới

Trạng thái phân giới	Trị số β	Các công thức để tính độ sâu của hạ lưu	Các hệ số dự trữ với đại lượng t_{pg}. Độ chính xác các công thức
1	*2*	*3*	*4*
Thứ nhất	Ở mọi giá trị β; nếu β < 0,7 thì khi b > 4($h_{opg} - h_1$)	Khi đáy phẳng (d = 0, e = 0) $t_{pg1} = \frac{1}{3}(2h_1 + a - h_{opg}) + 2\sqrt{(2h_1 + a - h_{opg})^2 + 3A)}$ (10-129) Khi dòng nước đổ ngoài phần nghiêng của đập $t_{pg1} = e + \frac{1}{3}(2h_1 + a - d - h_{opg} + 2\sqrt{(2h_1 + a - d - h_{opg})^2 + 3A}$ (10-130) Khi dòng nước đổ lên phần nghiêng của đập $t'_{pg1} = e + \frac{2}{3}\left[K_o + E + \sqrt{(K_o + E)^2 + 3(K_o + a - 0,5d)^2 + 0,75d^2 + 3A}\right]$ (10-131) $K_o = h_1 + 0,5(d - a - h_{opg})$; $E = a - 1,5d$	Giới hạn dưới của trạng thái phân giới thứ nhất $t'_{pg1} = 0,93t_{pg1}$ Giới hạn trên của trạng thái phân giới thứ nhất $t''_{pg1} = 1,07t_{pg1}$
Thứ hai	β ≥ 0,7	Các mố kết thúc ở thân lưỡi tràn (các mố ngắn) $t_{pg2} = e + \sqrt{(a + h_1)^2 + (2a + h_1)^2\beta(h_{opg} - h_1) - (2a - d)d + 2dh_{opg} + A}$ (10-132) Các mố dài (kết thúc ở cách lưỡi tràn một đoạn $l\delta \geq h_{opg}$) $t_{pg2} = e + \sqrt{(a - d)^2 + 2\left(a - d + \frac{\beta h_1}{2}\right)h_{opg} + (1 - \beta)h_{opg}^2 + A}$ (10-133)	Trạng thái chảy mặt ổn định với dòng nước không ngập hình thành khi $t = 0,95t_{pg2}$ Trạng thái bề mặt ổn định với dòng nước ngập được hình thành khi $t = 1,05t_{pg2}$

https://tieulun.hopto.org
www.thuvien247.net

1	2	3	4
Thứ hai	$\beta \geq 0,7$ $b > 4(h_{opg} - h_1)$	$t_{pg2} = a - d + h_{opg} + e$ (10-134) Trong trường hợp mố dài ($l\delta > h_{opg}$) công thức được áp dụng ngay cả khi $b \leq 4(h_{opg} - h_1)$	Khi $b > 8(h_{opg} - h_1)$ độ chính xác được tính ±5% Khi $4(h_{opg} - h_1) < b < 8h_{opg} - h_1)$ độ chính xác được tính ±10%
Thứ ba	$\beta = 1 \div 0,75$	$t_{pg3} = a - d + h_1 + h_{opg} + e$ (10-135)	
Thứ tư	$\beta \approx 1$	Giới hạn trên $t''_{pg4} = a + t_{pg2}$ (10-136) Giới hạn dưới $t'_{pg4} = t_{pg3}$ (10-137)	Trạng thái chảy mặt - đáy không thể hình thành khi $t_{pg2} < 0,98t_{pg3}$

www.thuvien247.net

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Trong bảng ta phân biệt các trường hợp $\beta = b/B \geq 0,7$ (tính không gian ở hạ lưu không đáng kể) và $\beta < 0,7$ (tính không gian đáng kể). Khi $\beta < 0,7$, có thể dùng công thức để tính các trạng thái phân giới thứ nhất và thứ hai với các điều kiện hạn chế sau:

$$b > 4(h_{opg} - h_1) \qquad (10\text{-}138)$$

Ghi chú: Các công thức được dùng khi góc nghiêng $\alpha_{b.m}$ của mặt thoáng của luồng chảy tại tuyến có bậc không lớn hơn $|\alpha_{b.m}| = 6^0$. Điều đó xảy ra khi mũi của bậc tràn tương đối dài (mục 10.22c) và khi luồng chảy gặp đập tràn đỉnh rộng hoặc bậc sau lỗ ra của tường xả nước có áp.

Trong các công thức ở bảng 10.6, t_{pg1} - chiều sâu ở hạ lưu (hình 10.52) khi có trạng thái phân giới thứ nhất (chiều sâu trung bình của các chiều sâu t'_{pg1} và t''_{pg1} ứng với các ranh giới trên và dưới của trạng thái phân giới thứ nhất).

$$t'_{pg1} = 0,93t_{pg1}\ ;\ t''_{pg1} = 1,07t_{pg1} \qquad (10\text{-}139)$$

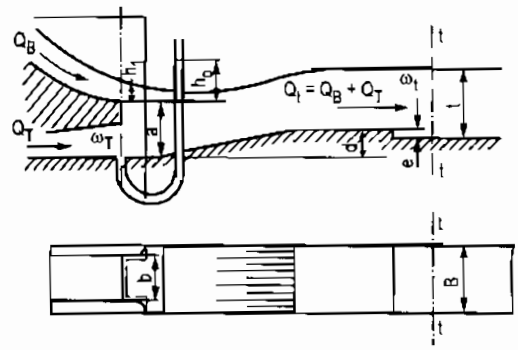
trong đó:

t_{pg2} - chiều sâu ở hạ lưu tại trạng thái phân giới thứ hai;

t_{pg3} - chiều sâu ở trạng thái phân giới thứ ba;

a - độ chênh của mũi tràn của bậc so với đáy hạ lưu tại tuyến có bậc;

d - độ chênh của sân tiêu năng so với đáy tại tuyến có bậc (chiều cao của đoạn nghiêng của sân tiêu năng sau lỗ ra của ống hút);



Hình 10.52

e - độ chênh giữa phần cao của sân tiêu năng so với sân sau;

h_1 - chiều sâu của luồng chảy tại mũi ở tuyến có bậc. Khi dòng chảy từ đường xả nước có áp, thì h_1 - chiều cao của lỗ của đường xả nước. Chiều sâu của luồng chảy ở mũi tại tuyến có bậc được xác định theo công thức của chiều sâu co hẹp (mục 9.9) tùy thuộc vào đại lượng T'_o - độ dự trữ năng lượng đơn vị so với mũi tràn của bậc;

h_{opg} - cột nước đo áp phân giới. Trong trạng thái phân giới thứ hai, h_{opg} được tính từ mép tràn của mũi; h_{opg} được tính theo công thức (10-125) khi chảy qua đập tràn và theo (10-90) khi chảy từ đường xả nước có áp.

Khi tính toán theo các công thức (10-91), (10-92) trong trạng thái phân giới thứ nhất, nên lấy:

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$t = a - d + h_1 + e \qquad (10\text{-}140)$$

Trong tính toán trạng thái phân giới thứ hai

$$t = a - d + h_{opg} + e \qquad (10\text{-}141)$$

Trong bảng 10.6, đối với trạng thái phân giới thứ tư ta có công thức của P. M. Xlixki[1]. Ranh giới trên của trạng thái phân giới thứ tư ứng với chiều sâu hạ lưu mà khi cao hơn chiều sâu đó sẽ xuất hiện trạng thái chảy đáy phục hồi; ranh giới dưới - trong đó, ở quá trình giảm chiều sâu hạ lưu, trạng thái trên biến mất.

Thí dụ: Tính chiều sâu hạ lưu sau đập tràn (hình 10.51) ở các trạng thái phân giới thứ nhất, thứ hai và thứ ba. Chiều rộng lỗ đập b = 14,0m; khoảng cách giữa các trục của trụ pin B = 17,0. Sân tiêu năng nằm ngang (d = 0, e = 0). Chiều cao bậc a = 8,0m, đập tràn p = 12,0m. Các trụ của đập nhô về phía hạ lưu một đoạn l_{tru} = 7,5m. Cột nước trên đập tràn H_o = 8,0m; độ chênh mực nước thượng lưu so với mũi $T'_o = 12,0m$ (có xét đến cột nước vận tốc). Hệ số lưu lượng của đập tràn m = 0,43, hệ số vận tốc φ = 0,95; β = b/B = 0,82. Tất cả các khoang đập đều mở.

Giải:

1- Lưu lượng đơn vị trên 1 mét chiều dài trên đập tràn và chiều sâu phân giới bằng:

$$q = m\sqrt{2g}H_o^{3/2} = 0,43.4,43.8,0^{3/2} = 43,2 \ m^3/s.m$$

$$h_{pg} = \sqrt[3]{\frac{43,2^2}{9,81}} = 5,75m$$

2- Các trạng thái chảy mặt chỉ có thể hình thành trong trường hợp, nếu nước nhảy trên sân tiêu năng sẽ ngập. Chiều sâu tại mặt cắt co hẹp trên sân và chiều sâu nối tiếp với nó được xác định theo các công thức hoặc đồ thị mục 9.9.

$$\frac{T_o}{h_{pg}} = \frac{T'_o + a}{h_{pg}} = \frac{20,0}{5,75} = 3,48$$

Trong trường hợp này ta có $\xi = \frac{h''_c}{h_{pg}} = 1,95$; $h''_c = 1,95.5,75 = 11,2m$, tức là để tránh nước nhảy xa, chiều sâu ở hạ lưu cần phải lớn hơn t = 1,05.11,2 = 11,7m.

3- Ta xác định chiều sâu của luồng chảy trên bậc. Ta có $\frac{T'_o}{h_{pg}} = \frac{12,0}{5,75} = 2,09$; theo đồ thị chiều sâu, tại mặt cắt co hẹp (mục 9.9) ta có:

$$h_1 = h_c = \xi_c h_{pg} = 0,614.5,75 = 3,52m$$

---

[1] Xlixki P. M. - "Công trình MEI", 1956, quyển XIX.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

4- Cột nước đo áp phân giới, khi $Fr = \frac{43,2^2}{9,81.3,52^3} = 4,35$, được xác định theo công thức (10-125) bằng:

$$h_{opg} = \frac{1}{3}\left(1 + \sqrt{6.4,35 + 1}\right)3,52 = 7,30\,m$$

5- Tính A theo công thức (10.92), lấy $t = a + h_1$, khi $\alpha_1 = \alpha_t = 1$

$$A = 2Fr_1 h_1^3 \beta\left(\frac{\alpha_1}{h_1} - \frac{\alpha_1\beta}{t}\right) =$$

$$= 2.4,35.3,52^3.0,82\left(\frac{1}{3,52} - \frac{0,82}{8,00 + 3,52}\right) = 66,2m^2$$

6- Chiều sâu hạ lưu ở trạng thái phân giới thứ nhất được xác định theo công thức (10-129) (bảng 10.6, đáy nằm ngang):

$$t_{pg1} = \frac{1}{3}\left[2h_1 + a - h_{opg} + 2\sqrt{(2h_1 + a - h_{opg})^2 + 3A}\right] =$$

$$= \frac{1}{3}\left[2.3,52 + 8,00 - 7,30 + 2\sqrt{(2.3,52 + 8,00 - 7,30)^2 + 3.66,2}\right]$$

$$= 13,3m$$

7- Trạng thái chảy đáy ổn định xuất hiện khi chiều sâu hạ lưu không lớn hơn $t = 0,93t_{pg1} = 0,93.13,3 = 12,4m$; trạng thái chảy mặt - khi chiều sâu không lớn hơn $t = 1,07.13,3 = 14,2m$.

8- Ta chọn công thức để tính chiều sâu hạ lưu ở trạng thái phân giới thứ hai. Các trụ pin của đập nhô về phía hạ lưu $l_{trụ} = 7,5m > h_{opg} = 7,3m$. Tính toán tiến hành theo công thức (10-133) khi e = 0 và d = 0 đối với trường hợp $l_{trụ} \geq h_{opg}$:

$$t_{pg2} = \sqrt{a^2 + 2\left(a + \frac{\beta h_1}{2}\right)h_{opg} + (1-\beta)h_{opg}^2 + A} =$$

$$= \sqrt{8,00^2 + 2\left(8,00 = \frac{0,82.3,52}{2}\right)7,30 + (1-0,82)7,3^2 + 71,9} =$$

$$= 16,83m$$

trong đó: $t = a + h_{opg}$ [theo công thức (10-141) khi d = 0, e = 0]

9. $$A = 2Frh_1^3\beta\left(\frac{1}{h_1} - \frac{\beta}{a + h_{opg}}\right) =$$

$$= 2.4,35.3,52^3.0,82\left(\frac{1}{3,52} - \frac{0,82}{8,0 + 7,30}\right) = 71,9m^2$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

10- Trạng thái chảy mặt ổn định sẽ xuất hiện khi chiều sâu hạ lưu không bé hơn $t = 0,95t_{pg2} = 0,95.16,83 = 16,0m$. Luồng chảy tất nhiên sẽ ngập khi chiều sâu hạ lưu:

$$t = 1,05t_{pg2} = 1,05.16,83 = 17,7m.$$

11- Chiều sâu hạ lưu ở trạng thái phân giới thứ ba được xác định theo công thức (10-135) khi d = 0:

$$t_{pg3} = a + h_1 + h_{opg} = 8,00 + 3,52 + 7,30 = 18,82m$$

Khi $t_{pg2} < 0,98t_{pg3}$, trạng thái chảy mặt - đáy không thể hình thành (xem bảng 10.6). Trong trường hợp của chúng ta, $t_{pg2} = 16,83 < 0,98.t_{pg3} = 18,5m$. Luồng chảy mặt sẽ ngập, không cần qua trạng thái chảy mặt - đáy.

Do đó kết quả tính toán cho ta thấy, khi chiều sâu mực nước ở hạ lưu t bé hơn 11,7m sẽ có nước nhảy xa trên sân tiêu năng; khi $11,7 < t < 12,4m$ sẽ có trạng thái chảy đáy (nước nhảy đáy ngập); khi $12,4 \le t \le 14,2m$ - trạng thái phân giới thứ nhất (không ổn định, tức là trạng thái đáy hoặc mặt hoặc sự thay thế chu kì các trạng thái nói trên); khi $14,2 \le t \le 16,0$ - trạng thái chảy mặt với nước nhảy xa (tức là dòng chảy không có nước vật mặt); khi $t > 16,0 \div 17,7$ - trạng thái chảy mặt có nước nhảy ngập và đập tràn ngập ($t > p = 1,20m$).

Sau khi luồng chảy mặt bị ngập, việc tăng tiếp tục chiều sâu ở hạ lưu dẫn đến trạng thái đáy phục hồi, điều đó ứng với ranh giới trên của trạng thái phân giới thứ tư

$$t = t''_{pg4} = a + t_{pg2} = 8,00 + 16,83 = 24,83m$$

Trạng thái đáy phục hồi sẽ biến mất, khi giảm chiều sâu ở hạ lưu đến (10-137)

$$t = t''_{pg4} = t_{pg3} = 18,82m$$

e) Tính các trạng thái phân giới theo các công thức của M. F. Xklatnhep[1]

Ranh giới dưới của trạng thái phân giới thứ nhất

$$t'_{pg1} = 0,875a + 0,7h_{pg} \qquad (10\text{-}142)$$

Ranh giới trên của trạng thái phân giới thứ nhất

$$t''_{pg1} = a + 1,2h_{pg} \qquad (10\text{-}143)$$

Trạng thái phân giới thứ hai: $t_{pg2} = a + 2h_{pg}$ (10-144)

Trạng thái phân giới thứ ba: $t_{pg3} = a + 1,7h_{pg}$ (10-145)

Các công thức được dùng khi $\beta = b/B = 1$, khi đáy hạ lưu nằm ngang, khi không có lưu lượng bổ sung từ lỗ đến bậc, khi $a/h_1 > 2$ và $Fr_1 < 40$ (số Frud được tính theo chiều sâu h_1).

---

[1] Xklatnhep M. F. "Thông báo VNHIIK", 1956, tập 55.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

10.23. MẶT THOÁNG VÀ ĐỘ BAY XA CỦA LUỒNG CHẢY BỊ NGẬP

Trong việc định chiều dài gia cố hạ lưu, xác định vị trí hố xói, tính toán trạng thái hạ lưu có xét đến ảnh hưởng đoạn nghiêng của sân tiêu năng (còn ở trạm thủy điện kết hợp - để tính toán phun xiết) ta cần phải biết độ bay xa của luồng chảy bị ngập (khi nó gặp bậc) và chiều dài nước vật dưới luồng chảy.

a) Mặt thoáng của luồng chảy bị ngập khi gặp bậc

Phương trình mặt thoáng của luồng chảy bị ngập[1] khi gặp bậc, dưới dạng thông số y = f(t), x = f(t) có dạng:

$$y = \sqrt{\frac{h_1}{g}}u_o \sin\alpha_{bm} \sin\sqrt{\frac{g}{h_1}}t + (h_o - h_1)\left(1 - \cos\sqrt{\frac{g}{h_1}}t\right) \qquad (10\text{-}146)$$

$$x = \frac{g}{h_1}\frac{1}{u_o}2(T'_o - h_1)\left[h_o - \frac{2}{3}(T'_o - h_1)\right]t +$$

$$+ h_o\sqrt{\frac{h}{g}}\Delta\cos\varphi - h_o(h_o - h_1)\left(t - \sqrt{\frac{h_1}{g}}\sin\varphi\right) +$$

$$+ \frac{1}{6}\left[\Delta^2 t - \frac{1}{2}\sqrt{\frac{h_1}{g}}\sin 2\varphi(\Delta^2 - (h_o - h_1)^2\right] -$$

$$- \frac{2}{3}\sqrt{\frac{h_1}{g}}(h_o - h_1)\Delta\left(\cos\varphi + \frac{1}{g}\sin^2\varphi\right) +$$

$$+ (h_o - h_1)^2\left(\frac{t}{2} - \frac{2}{3}\sqrt{\frac{h_1}{g}}\sin\varphi\right) +$$

$$+ u_o\left(\cos\alpha_{b.m} - \frac{h_o - \frac{2}{3}(T'_o - h_1)}{h_1}\right)t - \frac{1}{3}\sin\alpha_{b.m}(h_o + 2h_1) \qquad (10\text{-}147)$$

trong các công thức đó:

u_o - vận tốc mặt tại mặt cắt đầu;

$\alpha_{b.m}$ - góc nghiêng của bề mặt luồng chảy tại tuyến có bậc;

h_1 - chiều sâu của luồng tại tuyến có bậc;

h_o - cột nước đo áp dưới luồng chảy tại tuyến có bậc tính từ mép tràn của bậc;

---

[1] Xlixli X. P. "Công trình MEI", loai Thủy năng, 1961, N°2.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

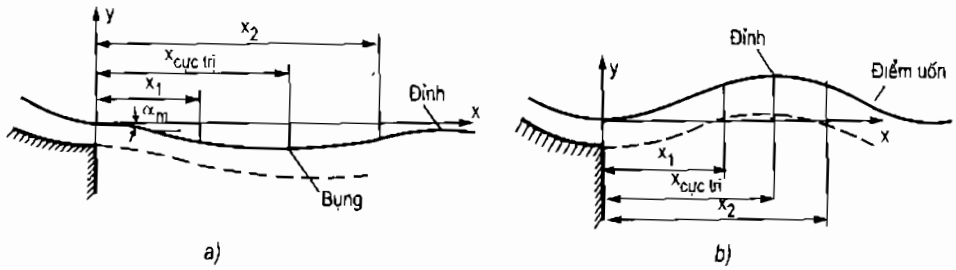
T_o' - độ dự trữ năng lượng đơn vị của luồng chảy tại tuyến có bậc so với mép tràn của bậc;

t - thời gian chuyển động của điểm đang xét trên bề mặt luồng chảy tính từ thời điểm ban đầu t = 0

$$\varphi = \sqrt{\frac{g}{h_1}}t\,; \quad \Delta = u_o \sin\alpha_{b.m}\sqrt{\frac{h_1}{g}}$$

Công thức sẽ đơn giản hơn nhiều khi $\alpha_{b.m} = 0$.

Ghi chú: Mặt cắt ban đầu lấy tại tuyến có bậc, còn khi có đoạn mũi nằm ngang và $h_o > h_1$ - tại tuyến ban đầu của đoạn đó (nhưng không xa hơn mũi tràn một đoạn h_1). Phương trình mặt thoáng dùng trong trường hợp luồng chảy cong lõm - tại đoạn trước đỉnh, còn khi luồng chảy cong lồi - tại đoạn trước điểm uốn, nằm trên đỉnh (hình 10.53).



Hình 10.53

Các tung độ của các điểm đặc trưng và thời gian t ứng với các điểm này được xác định theo các công thức:

1. Đỉnh hoặc rốn khi $\alpha_{b.m} \neq 0$:

$$y_{d.r} = h_o - h_1 \pm \sqrt{(h_o - h_1)^2 + \Delta^2} \qquad (10\text{-}148)$$

Khi $\alpha_{b.m} = 0$, ở đây $\Delta = 0$:

$$t_{d.r} = \sqrt{\frac{h_1}{g}}\arcsin\frac{u_o \sin\alpha_{b.m}\sqrt{\frac{h_1}{g}}}{\sqrt{\frac{u_o^2 \sin^2\alpha_{b.m}}{g}h_1 + (h_o - h_1)^2}} \qquad (10\text{-}149)$$

2. Điểm uốn $\qquad y_{uốn} = h_o - h_1 \qquad (10\text{-}150)$

$$t_{uốn} = \sqrt{\frac{h_1}{g}}.\arcsin\frac{h_o - h_1}{\sqrt{\frac{u_o^2 \sin^2\alpha_{b.m}}{g}h_1 + (h_o - h_1)^2}} \qquad (10\text{-}151)$$

Đường cong mặt thoáng là đường đối xứng đối với trục tung của các điểm cực trị của nó, vì vậy với các trị số hoành độ x_1 của các điểm đã biết trước đỉnh hoặc

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

rốn, ta có thể xác định được các hoành độ của các điểm đối xứng với chúng theo công thức (hình 10.53).

$$x_2 = 2x_{\text{cực trị}} - x_1 \qquad (10\text{-}152)$$

Khi tính toán mặt thoáng, chiều sâu h_1 tại tuyến có bậc được xác định theo mục 9.9; cột nước đo áp h_o - như trong mục 10.26, 10.27 khi $Q_T = 0$ hoặc $Q_T \neq 0$. Khi chảy từ đường xả nước có áp, h_1 là chiều cao của lỗ xả nước.

Thí dụ: Cho $q = 11,9\ m^3/s.m$; $h_1 = 0,7m$; $T_o' = 16,90m$; các góc nghiêng của mũi, trục và bề mặt luồng chảy $\alpha_m = a_{tr} = \alpha_{b.m} = 15^o$; $\sin\alpha = 0,258$; $h_o = 3,40m$. Vẽ quỹ đạo của luồng chảy khi gặp bậc.

Giải:

1- Vận tốc bề mặt tại tuyến có bậc khi hệ số vận tốc đối với bề mặt luồng chảy $\varphi = 1,0$ là:

$$u_o = \varphi\sqrt{2g(T_o' - h_1)} = 1,0\sqrt{2.9,81(16,9 - 0,70)} = 17,85m$$

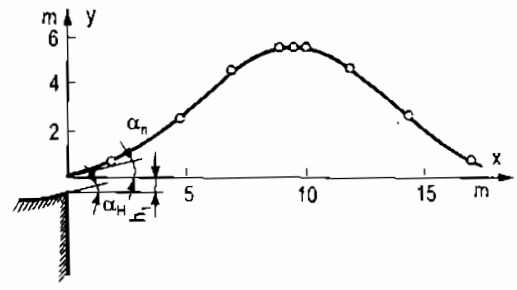
2- Theo công thức (10-149) ta tính thời gian cần để điểm đang xét đi đến đỉnh của mặt thoáng:

$$t_d = \sqrt{\frac{h_1}{g}}\arcsin\left[\frac{u_o \sin\alpha_{b.m}\sqrt{\frac{h_1}{g}}}{\sqrt{\frac{u_o^2\sin^2\alpha_{b.m}}{g}h_1 + (h_o - h_1)^2}}\right] =$$

$$= \sqrt{\frac{0,7}{9,81}}\arcsin\left[\frac{17,85.0,258\sqrt{\frac{0,7}{9,81}}}{\sqrt{\frac{17,85^2.0,258^2}{9,81}0,7 + (3,40 - 0,70)^2}}\right] =$$

$$= 0,267\arcsin\frac{1,23}{2,97} = 0,267\frac{155,5^o}{180^o}\pi = 0,73s$$

3- Sau đó theo các công thức (10-146) và (10-147) ta tính các tọa độ của mặt thoáng trên đoạn trước đỉnh với các trị số thời gian tự cho là 0,1; 0,3; 0,5; 0,7s và khi $t_d = 0,73s$. Các giá trị hoành độ của các điểm đối xứng với đỉnh được xác định theo công thức (10-152). Sau khi thay các giá trị bằng số vào các công thức này, ta có:



Hình 10.54

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$y = \sqrt{\frac{0,70}{9,81}}17,85.0,258\sin\sqrt{\frac{9,81}{0,70}}t + (3,40 - 0,70)\left(1 - \cos\sqrt{\frac{9,81}{0,70}}t\right)$$

$$x = 13,62t + 0,397\cos\varphi + 0,898\sin\varphi + 0,102\sin 2\varphi - 0,224\sin^2\varphi - 0,413$$

Kết quả tính toán ghi trong bảng A. Đường cong tính ra của bề mặt thoáng được trình bày trên hình 10.54.

Bảng A. Bảng tính tọa độ y và x để vẽ mặt thoáng của luồng chảy ngập

t (s)	y (m)	$\varphi = t\sqrt{\frac{g}{h_1}}$	φ	sinφ	cosφ	$\sin^2\varphi$	sin2φ	x (m)	
								Theo công thức (10-147)	Theo công thức (10-152)
0,10	0,60	0,37	21°17'	0,364	0,932	0,132	0,676	1,69	–
0,30	2,52	1,12	64°00'	0,899	0,438	0,810	0,788	4,56	–
0,50	4,52	1,87	107°00'	0,993	–0,122	0,989	–0,242	6,99	–
0,70	5,57	2,62	150°00'	0,500	–0,866	0,250	–0,866	9,06	–
0,73	5,65	2,74	157°10'	0,391	–0,927	0,152	–0,719	9,48	–
–	5,57	–	–	–	–	–	–	–	9,82
–	4,52	–	–	–	–	–	–	–	11,89
–	2,53	–	–	–	–	–	–	–	14,32
–	0,60	–	–	–	–	–	–	–	16,89

Khi cosφ âm, góc φ ở góc phần tư thứ hai.

b) Chiều dài nước vật dưới luồng chảy ngập khi gặp bậc

Độ bay xa của luồng chảy (chiều dài của nước vật đáy) (hình 10.55) ở các trạng thái chảy đáy - mặt gần với trạng thái phân giới thứ hai và có thể xác định theo công thức:

$$l_{n\,v} = x_{uốn} + \left(a - d + h_l + y_{uốn} - \frac{h_l + 0,1x_{uốn}}{\cos(\beta + 5^o45')}\right)\text{ctg}(\beta + 5^o45') \qquad (10\text{-}153)$$

trong đó:

$x_{uốn}$ - hoành độ của điểm uốn (trong trạng thái đáy - là điểm uốn thứ nhất; trong các trạng thái mặt và mặt - đáy - điểm uốn thứ hai);

$y_{uốn}$ - tung độ của điểm uốn, $y_{uốn} = h_o - h_l$;

a - chiều cao bậc tính từ cao trình sân tiêu năng;

d - chiều cao đoạn nghiêng của sân tiêu năng;

β - góc nghiêng của đường tiếp tuyến với mặt thoáng tại điểm uốn.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

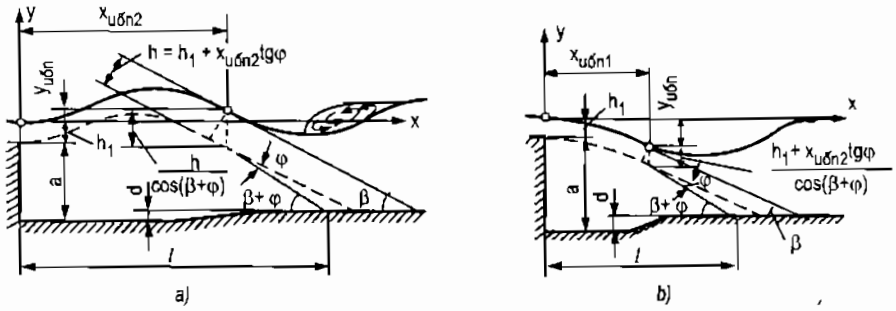
Ở trạng thái đáy (hình 10.55b)

$$ctg\beta = \frac{u_o \cos\alpha_{b.m} - \frac{g}{2q}(h_o^2 - h_l^2)}{\sqrt{u_o \sin^2\alpha_{b.m} + \frac{g}{h_l}(h_o - h_l)^2}} \qquad (10\text{-}154)$$

Trong các trạng thái mặt gần với phân giới thứ hai và trong trạng thái mặt - đáy (hình 10.55a), góc nghiêng của luồng chảy tại tuyến có bậc $\alpha_{b.m} = 0$, vì vậy

$$ctg\beta = \frac{u_o - \frac{g}{2q}(h_o^2 - h_l^2)}{(h_o - h_l)\sqrt{\frac{g}{h_l}}} \qquad (10\text{-}155)$$

Tính toán có thể tiến hành khi không có cũng như khi có lưu lượng bổ sung từ lỗ trên bậc vào dưới luồng chảy (đập hai tầng và trạm thủy điện kết hợp).



Hình 10.55

Thí dụ: Tính chiều dài nước vật dưới luồng chảy ở trạng thái mặt - đáy. Độ chênh của mũi so với sân tiêu năng a = 7,57m; d = 0; lưu lượng đơn vị trên mép tràn của bậc q = 48,95 m^3/s.m; h_l = 3,18m; h_o = 7,3m. Vận tốc mặt tại tuyến có bậc

$$u_o = \sqrt{2g(T_o' - h_l)} = 17,22 \text{ m/s}$$

Giải:

1- Tung độ của điểm uốn $y_{uốn} = h_o - h_l = 7,3 - 3,18 = 4,12$m.

2- Góc nghiêng của đường tiếp tuyến với mặt thoáng tại điểm uốn được xác định theo công thức (10-155)

$$ctg\beta = \frac{u_o - \frac{g}{2q}(h_o^2 - h_l^2)}{(h_o - h_l)\sqrt{\frac{g}{h_l}}} = \frac{17,22 - \frac{9,81}{2.48,95}(7,3^2 - 3,18^2)}{(7,3 - 3,18)\sqrt{\frac{9,81}{3,18}}} = 1,80 \quad (\beta = 29^o)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

3- Thời gian ứng với điểm uốn thứ nhất và đỉnh [các công thức (10-151) và (10-149) khi $\alpha_{b.m} = 0$]:

$$t_{uốn\ 1} = \frac{h_1}{g}\arcsin 1 = \frac{3,18}{9,81}1,57 = 0,51s$$

$$t_d = \frac{h_1}{g}\arcsin 0 = \frac{3,18}{9,81}3,14 = 1,02s$$

4- Các hoành độ của điểm uốn và đỉnh được xác định theo các công thức (10-147)[1] và (10-152):

$$x_{uốn1} = 13,83m;\ x_d = 23,9m$$

$$x_{uốn2} = 2x_d - x_{uốn1} = 33,97m$$

5- Chiều dài cần tìm của nước vật (khoảng cách từ bậc đến điểm nhọn của nước vật), theo công thức (11-153), bằng:

$$l_{n.v} = x_{uốn2} + \left(a + h_1 + y_{uốn} - \frac{h_1 + 0,1x_{uốn2}}{\cos(\beta + 5^\circ 45')}\right)\text{ctg}(\beta + 5\,45^\circ) =$$

$$= 33,97 + \left(7,57 + 3,18 + 4,12 - \frac{3,18 + 0,1.33,97}{\cos 34^\circ 45'}\right).\text{ctg}34^\circ 45'$$

$$= 44,3m$$

Khi mũi nằm ngang (chiều dài phần đệm nằm ngang không bé hơn chiều sâu h_1 của luồng chảy trên mũi) và không có lưu lượng bổ sung vào dưới luồng chảy, chiều dài nước vật đáy có thể tìm được trong các điều kiện dòng chảy phẳng song song hoặc gần với nó theo các công thức thực nghiệm của M. F. Xklatnhep[2] (bảng 10.7).

Để chọn các công thức tính toán, cần biết số Frud cho mặt cắt luồng chảy tại tuyến có bậc và trạng thái chảy ở hạ lưu. Các công thức cho ta chiều dài trung bình $l_{n.v}$. Do hiện tượng mạch động chiều dài của nước vật, các chiều dài tính ra sẽ khác với giá trị trung bình khoảng ±10 - 15%.

10.24. TÍNH TOÁN THỦY LỰC PHUN XIẾT Ở TRẠM THỦY ĐIỆN KIỂU KẾT HỢP

Mực nước dâng ở hạ lưu trạm thủy điện trong thời kì lũ có thể làm giảm cột nước của tuabin, do đó làm giảm công suất của trạm thủy điện so với công suất lắp máy (hình 10.56).

---

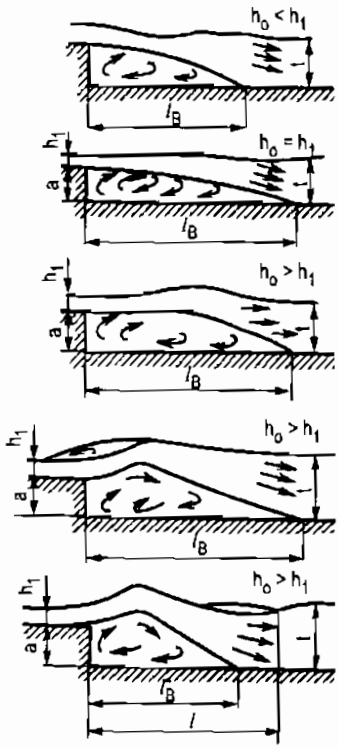
[1] Khi $\alpha_{b.m} = 0$, công thức này đơn giản đi nhiều.

[2] Xklatnhep M. F. - "Thông báo của VNHIIK", 1956, tập 55.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 10.7. Chiều dài của nước vật đáy sau bậc ở các trạng thái chảy mặt (khi không có lưu lượng bổ sung vào dưới luồng chảy; β = 1)

Sơ đồ	Trị số Frud $Fr = \frac{q^2}{gh_1^3}$	Công thức
		Khi mặt thoáng của luồng chảy hạ thấp dần hoặc nằm ngang
	1 - 10	$l_v = 0,28(t - h_1)(33,2 - Fr)$ (10-156)
	> 10	$l_v = 0,015(t - h_1)(420 + Fr)$ (10-157)
		Khi mặt thoáng nâng cao dần tại đoạn đầu
	< 10	$l_v = 0,25(t - h_1)(33 - Fr)$ (10-158)
	≥ 10	$l_v = 0,01(t - h_1)(565 + Fr)$ (10-159)
		Trạng thái chảy mặt có luồng chảy bị ngập
	> 5	$l_v = (t - h_1)\left(6,6 + \frac{1}{Fr} - 0,7\frac{t}{t_{pg2}}\right)$ (10-160)
		Trạng thái chảy mặt - đáy có luồng chảy không ngập
	≥ 5	$l_v = 3,1(t - h_1)\left(1 + \frac{0,65}{Fr - 2}\right)$ (10-161)
		Chiều dài tổng cộng của khu vực nước vật
	≥ 5	$l_v = 4,4(t - h_1)\left(1 + \frac{2,1}{Fr}\right)$ (10-162)
	≥ 25	$l_v = 4,5(t - h_1)$ (10-163)

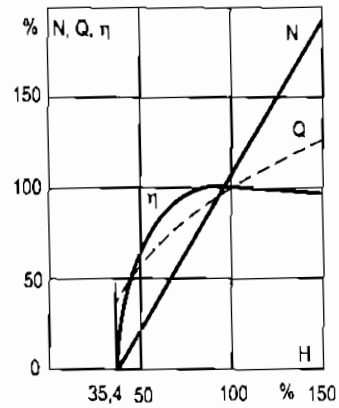
Việc phục hồi cột nước và công suất của trạm thủy điện trong thời kỳ lũ bằng cách giảm cao trình đo áp dưới bánh xe công tác của tuabin, có thể thực hiện được bằng phun xiết. Hiện tượng đó đạt được bằng cách xả không tải qua các tổ máy của trạm hoặc ở ngay gần chúng.

Cột nước tác dụng của tuabin H_T khi không có phun xiết được xác định theo công thức:

$$H_T = \blacktriangledown TL - \blacktriangledown \hat{o}h = z + \Delta h_o \qquad (10\text{-}164)$$

còn khi có phun xiết:

$$H_{Tpx} = \blacktriangledown TL - \blacktriangledown \hat{o}h = z + \Delta h_{px} \qquad (10\text{-}165)$$



Hình 10.56

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

trong đó:

▼TL - cao trình mực nước ở thượng lưu;

▼ôh - cao trình đo áp tại mặt cắt ra của ống hút;

z - độ chênh, tức là hiệu các cao trình thượng và hạ lưu;

Δh_o - độ chênh phục hồi khi không có phun xiết, tức là độ dâng cao của đường đo áp trên đoạn từ mặt cắt ra của ống hút đến mặt cắt cuối sân tiêu năng, ở đó cao trình mặt thoáng được xem là cao trình hạ lưu: Δh_o = ▼HL – ▼ôh;

Δh_{px} - cũng vậy khi có phun xiết.

Trong bài toán tính phun xiết, trước hết gồm việc xác định Δh_o và Δh_{px}. Bước cuối cùng trong tính phun xiết là xác định hiệu quả phun xiết dưới lưu lượng lũ đã cho Q_x và sự phân bố của nó theo $Q_đ$ - lưu lượng của đường xả nước của trạm thủy điện; Q_T - của tuabin và $Q_{đtr}$ - của đập tràn.

Cột nước tác dụng của tuabin do phun xiết được tăng lên một đại lượng:

$$\Delta H_T = H_{Tpx} - H_T = h_{px} - \Delta h_o \qquad (10\text{-}166)$$

còn công suất trạm thủy điện được tăng lên[1] một đại lượng:

$$\Delta N = 9{,}81 Q \Delta H \eta \qquad (kW)$$

10.25. ĐỘ CHÊNH PHỤC HỒI[2]

Để tính độ chênh phục hồi Δh_o nên dùng công thức sau đây:

$$\Delta h_o = \frac{A_o - 2\beta R}{2(t + d - e + E)} \qquad (10\text{-}167)$$

trong đó:

$$A_o = \frac{2Q_T^2}{Bg}\left(\frac{\alpha_T}{\omega_T} - \frac{\alpha_t}{tB}\right) \qquad (10\text{-}168)$$

Q_T - lưu lượng qua một tuabin;

B - chiều rộng của một bộ tuabin bằng khoảng cách giữa các trục của hai trụ liền nhau;

g - gia tốc rơi tự do;

ω_T - diện tích mặt cắt ra của ống hút;

t - chiều sâu hạ lưu khi lưu lượng chảy về phía hạ lưu qua công trình đầu mối;

d, e - chiều cao đoạn nghiêng và bậc của đáy lòng dẫn;

---

[1] Với các giá trị Q và η không đổi. Nếu xét cả sự thay đổi của Q và η thì $\Delta N = 9{,}81 (\Delta Q.H.\eta + Q.\Delta H.\eta + Q.H.\Delta\eta)$.

[2] Xlixki X. M. Thủy lực của nhà máy thủy điện, "Năng lượng", 1970.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

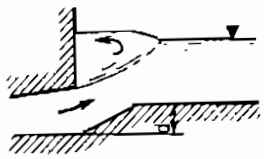
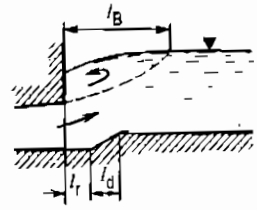
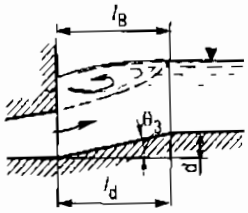
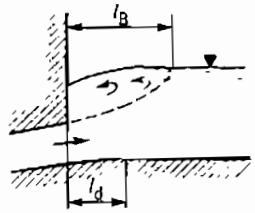
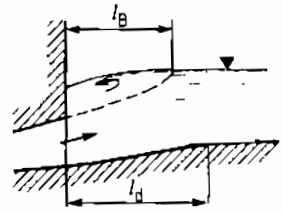
α_T và α_t - các hệ số (Butxinet) xét đến sự phân bố vận tốc không đều tại mặt cắt ra của ống hút và tại tuyến mà ở đó chiều sâu hạ lưu bằng t. Để tính toán sơ bộ, có thể lấy $\alpha_T = 1,37$ và $\alpha_t = 1,05$.

Trị số R - thành phần phản lực động của đoạn sân tiêu năng nghiêng, được tính theo công thức của Iu. P. Pravdivetx:

$$R = 0,1\alpha_T \frac{d}{g}\left(\frac{Q_T}{\omega_T}\right)^2 \qquad (10\text{-}169)$$

Số hạng E trong công thức (10-167) phụ thuộc vào tỉ số của chiều dài của nước vật trên luồng chảy từ ống hút và hình chiếu của đoạn nghiêng của sân tiêu năng được xác định theo các công thức (10-170) - (10-172) (xem bảng 10.8).

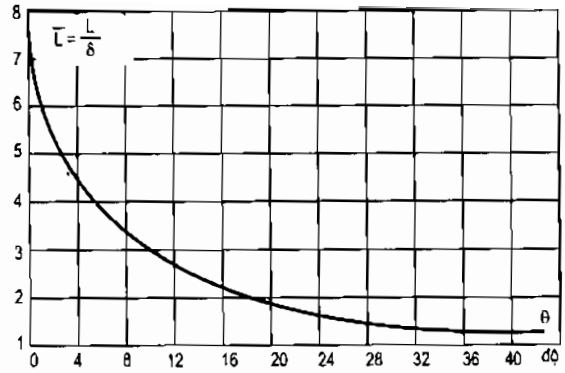
Bảng 10.8. Các công thức để tính E khi tính toán độ chênh phục hồi

<table>
<tr><th colspan="3">Các trường hợp tính toán</th></tr>
<tr><th>a</th><th colspan="2">b</th></tr>
<tr><td> 
$L_{n.v} > l_d$</td><td colspan="2"> 
$L_{n.v} < l_d$</td></tr>
<tr><td>$E = 0,5L_{n.v}tg\theta_{nv}\left[\left(1-\frac{a}{L_{n.v}tg\theta_{n.v}}\right)^2 - 1\right]$ (10-170)</td><td colspan="2">$E = -0,5L_{n.v}tg\theta_{n.v}$ (10-171)</td></tr>
<tr><th>c</th><th>d</th><th>e</th></tr>
<tr><td> 
$L_{n.v} = l_d$</td><td> 
$L_{n.v} < l_t + l_d$ $L_{n.v} > l_t + l_d$</td><td> 
Ở hạ lưu hình thành nước dâng</td></tr>
<tr><td>$E = -0,5d$ (10-172)</td><td>Trong các biểu thức (10-170) và (10-171) thay $L_{n.v}$ bằng $L_{n.v} - l_d$</td><td>$E = -d$ (10-172)</td></tr>
</table>

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Chiều dài nước vật $L_{n.v}$ được tìm theo đồ thị trên hình 10.57, trong đó $\delta = \blacktriangledown HL - \blacktriangledown B_m$ - độ cao của cao trình hạ lưu so với mép lỗ ra của ống hút.



Hình 10.57

Góc θ trên đồ thị này lấy bằng:

$\theta = \theta_{tr}$, khi $\theta_{tr} \geq \theta_{dn}$ và $d < h_T$ hoặc $d > h_T$;

$\theta_2 = \theta_{dn}$, khi $\theta_{tr} < \theta_{dn}$ và $d \geq h_T$;

$$\theta = \theta_{tr} + (\theta - \theta_{tr})\left(\frac{d}{h_T}\right)^2, \text{ khi } \theta_{tr} < \theta_{dn} \text{ và } d \leq h_T.$$

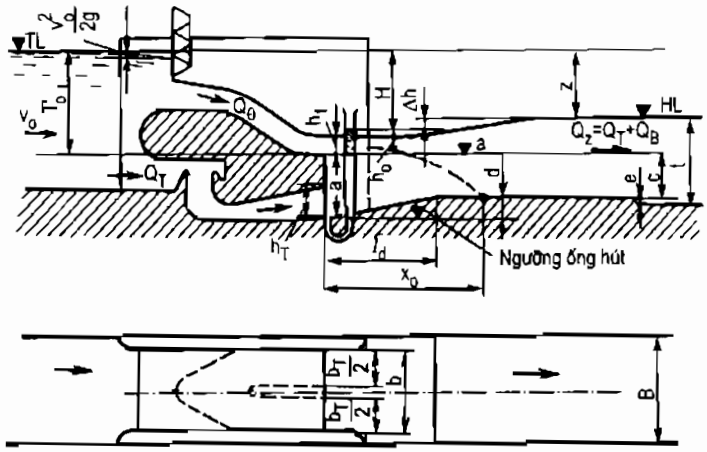
trong đó:

θ_{tr} và θ_{dn} - các góc nghiêng so với đường nằm ngang của trần ống hút và đoạn nghiêng của sân tiêu năng;

d - chiều cao của đoạn nghiêng;

h_T - chiều cao của lỗ của ống hút.

10.26. PHUN XIẾT BẰNG ĐẬP TRÀN



Hình 10.58

Khi xả nước qua đập tràn mặt cắt thực dụng hoặc đỉnh rộng bằng lỗ ống hút bố trí tại bậc (hình 10.58), h_o được xác định theo các công thức trong bảng 10.9. Cột nước đo áp ứng với áp suất dưới luồng chảy tại tuyến có bậc sẽ tính từ mép tràn của bậc. Biết h_o, ta xác định được cao trình $\blacktriangledown oh = \blacktriangledown Kp + h_o$ và sau đó:

$$\Delta h_{px} = \blacktriangledown HL - \blacktriangledown oh$$

https://tieulun.hopto.org

Bảng 10.9. Các công thức để tính phun xiết khi tháo nước qua đập tràn hoặc đường xả nước có áp khi luồng chảy không bị ngập tại tuyến có bậc

Vị trí của đoạn sân tiêu năng nghiêng	Trạng thái đáy (xem hình 10.50a)	Trạng thái mặt có nước nhảy không ngập (xem hình 10.50b)
Hoàn toàn nằm trong nước vật đáy $x_o > l_{nv}$ (luồng chảy rơi ra ngoài đoạn nghiêng)	$h_o = -(a-d)\sqrt{(t-e)\frac{\beta h_1^2}{2} - A}$ (10-173)	Tru dài ($l_{tr} > h_{opg}$) $h_o = \frac{-(a-d+0,5\beta h_1) + \sqrt{(a-d+0,5\beta h_1)^2 - (1-\beta)\left[(a-d)^2 - (t-e)^2 + A\right]}}{1-\beta}$ (10-175) Trụ ngăn: ($l_{tr} < h_{opg}$) $h_o = \frac{(t-e)^2 + (2a-d)d - \beta a^2 - (1-\beta)(a+h_1)^2 - A}{2(\beta a - d) + \beta h_1}$ (10-176)
Một phần hoặc toàn bộ ở ngoài phạm vi nước vật đáy $x_o < l_{nv}$	$h_o = \frac{2a-d}{2} + \sqrt{\left(\frac{2-a-d}{2}\right)^2 - a^2 + ad + (t-e)d - \frac{\beta h_1^2}{2} + (t-e)^2 - A}$ (10-174)	Trụ dài (l_{trd} h_{opg}) $h_o = \frac{-(a-0,5d+0,5\beta h_1) + \sqrt{(a-0,5d+0,5\beta h_1)^2 - (1-\beta)\left[a^2 - (a+t-e)d + (t-c)^2 + A\right]}}{1-\beta}$ (10-177)

Ghi chú: 1. Chiều dài của trụ pin được tính từ bậc về phía hạ lưu.

2. Cột nước đo áp tại tuyến có bậc h_o được tính từ mép tràn của bậc ngược lên với dấu cộng (+), xuống dưới với dấu trừ (–).

www.thuvien247.net

https://tieulun.hopto.org

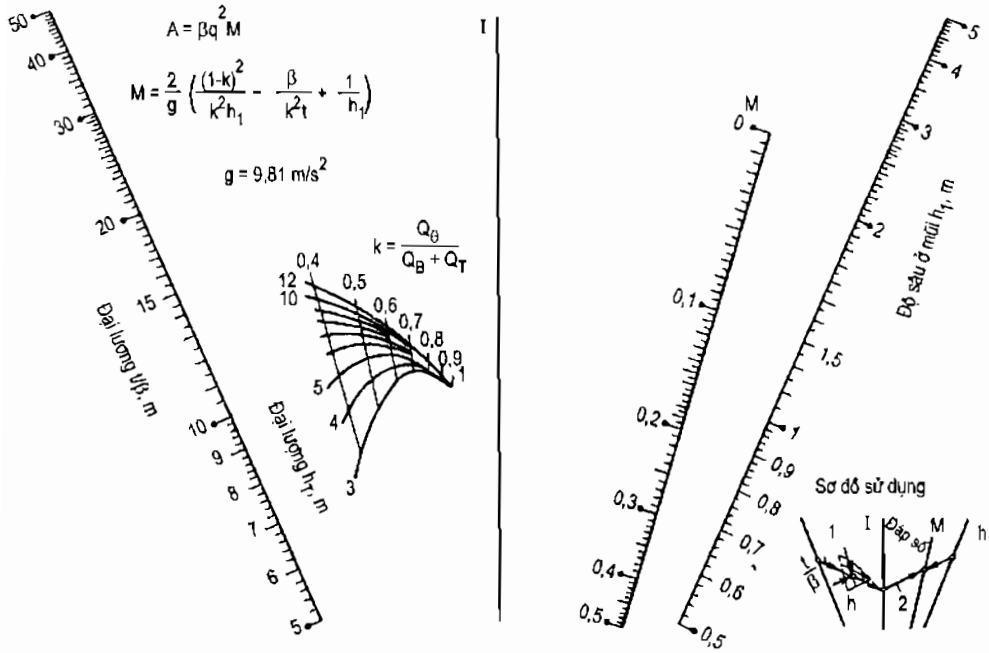
www.thuvien247.net

Trong các công thức ở bảng 10.9:

h_o - cột nước đo áp dưới luồng chảy tại tuyến có bậc tính từ mép tràn của bậc;

$\beta = b/B$ - tỉ số bề rộng của luồng ở tuyến tại bậc (thường là chiều rộng của lỗ tràn) và chiều rộng tính toán của hạ lưu (khi các tuabin trung gian làm việc - là khoảng cách giữa các trục của tổ máy);

h_1 - chiều sâu của luồng chảy trên bậc. Các kí hiệu còn lại đều ghi rõ trên hình 10.58 hoặc sẽ được giải thích sau này. Đại lượng A được xác định theo công thức (10.91) hoặc bằng toán đồ trên hình 10.59.



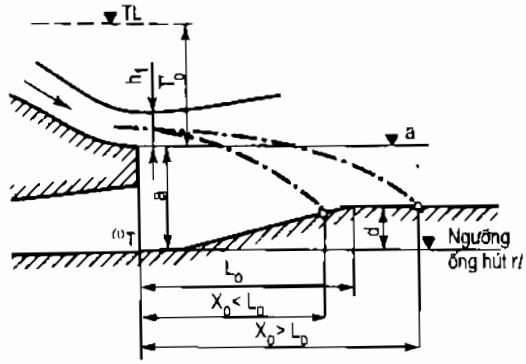
Hình 10.59

Khi chọn công thức tính toán (bảng 10.9), ta xác định sơ bộ theo các công thức (10-153), (10-156) - (10-163) vị trí của đoạn nghiêng (ở nước vật đáy hoặc ở ngoài nó). Cũng có thể dùng các công thức của luồng chảy rơi tự do (mục 10.20); sau khi đã biết độ bay xa của luồng tự do (hình 10.60), tức là khi áp suất dưới luồng chảy là áp suất khí quyển, thì khi xác định vị trí rơi của luồng nên xuất phát từ điều kiện là lúc $h_o > h_1$ thì độ bay xa của luồng chảy tăng lên.

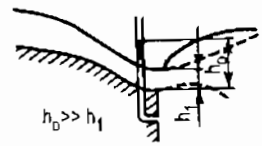
Nếu khi tính toán phun xiết ta được $h_o < 0$ mà không có không khí vào phía dưới luồng chảy thì ở đó sẽ xuất hiện chân không. Sự xuất hiện chân không ở dưới luồng chảy sẽ làm giảm cột nước của tuabin và gây nên các trạng thái không ổn định ở hạ lưu. Vì vậy khi $h_o < 0$ nên dùng các biện pháp kết cấu bảo đảm cho không khí được vào tự do phía dưới luồng.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 10.60



Hình 10.61

Khi trạng thái chảy mặt với nước nhảy ngập (hình 10.61), trong trường hợp phun xiết bằng đập tràn, tính toán được tiến hành theo công thức:

$$h_o = \frac{(h_1 + d - e)^2 - a^2 - A}{2a + h_1} \qquad (10\text{-}178)$$

Công thức này cho ta sai số cho phép trong trường hợp, nếu:

$$\Delta t \le 0,8\sqrt[3]{q_m^2} \ (m) \qquad (10\text{-}179)$$

trong đó: Δt - độ chênh mực nước trên sân sau so với mép tràn của bậc;

q_m - lưu lượng đơn vị trên mép mũi tràn ($m^3/s.m$).

Để chọn công thức tính toán khi xác định vị trí nước vật đáy trên sân tiêu năng, đòi hỏi phải xác định sơ bộ các trạng thái hạ lưu (mục 10.22).

Cột nước đo áp phân giới dưới luồng chảy tại tuyến có bậc, mà tại đó xảy ra sự thay thế các trạng thái và đòi hỏi phải biết khi xác định theo bảng (10.9) công thức tính toán đánh giá chiều dài trụ pin ($l_{trụ} < h_{opg}$; $l_{trụ} > h_{opg}$), được xác định theo công thức (10-125).

Trong tính toán sơ bộ, có thể dùng các đồ thị của B. T. Emxep và P. M. Xlixki được lập ra để xác định t_{pg1} và t_{pg2} khi không có phun xiết (hình 10.62). Các đồ thị cho phép xác định $\zeta_1 = t_{pg1}/h_{pg}$ và $\zeta_2 = t_{pg2}/h_{pg}$ khi đã biết $\zeta_1 = h_1/h_{pg}$ và $\psi = c/h_{pg}$, trong đó c - độ cao của mép tràn của mũi so với sân tiêu năng; $h_{pg} = \sqrt[3]{q^2/g}$.

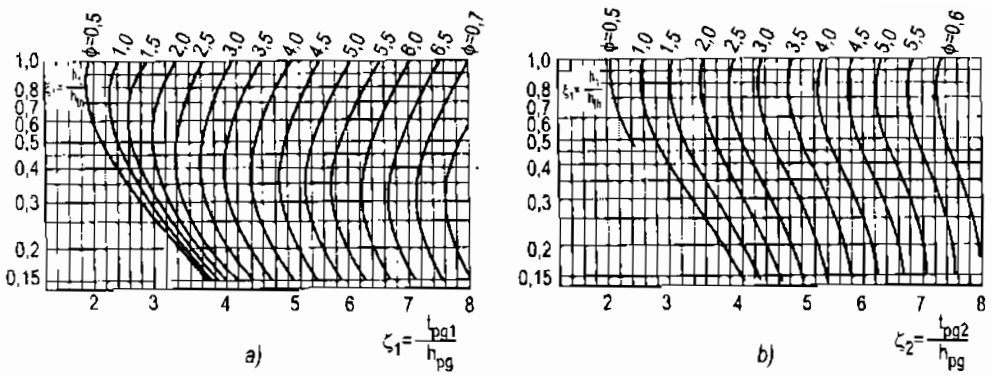
Đại lượng t_{pg1} đối với trạng thái phân giới thứ nhất khi có phun xiết, được tính lại chính xác theo công thức:

$$t_{pg1} = \zeta_1 h_1 - 0,35(\zeta_1 h_{pg} - c) \qquad (10\text{-}180)$$

Công thức này được dùng khi $Q_d/Q_T = 2 \div 4$.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 10.62

10.27. PHUN XIẾT KHI XẢ NƯỚC QUA ĐƯỜNG XẢ NƯỚC CÓ ÁP

Khi lỗ xả nước không ngập và không có sàn sau lỗ việc tính toán cột nước đo áp h_o dùng để xác định ▼ôh - cao trình đo áp tại miệng ống hút sẽ khác với tính toán khi xả nước qua đập tràn chỉ ở chỗ là chiều sâu luồng chảy trên bậc h_1 bằng chiều cao lỗ xả. Do đó, các công thức trong bảng 10.9 vẫn có tác dụng. Nhưng khi có các trụ pin trung gian trong các lỗ có áp của tường xả nước trong trạng thái chảy mặt ($t > t_{pg2}$), ta nên tiến hành tính toán theo công thức:

$$h_o = \frac{-(2a-d) + \sqrt{(2a-d)^2 - 4(1-\beta_o)\left[a^2 - (a-d)d - dt - t^2 + \beta_o(h_1 - c)^2 + A\right]}}{2(1-\beta_o)} \qquad (10\text{-}181)$$

Ở đây và sau này A được xác định, cũng như trước, theo công thức (10-91); $\beta_o = B_o/B$.

Khi lỗ ngập, tính toán phun xiết được tiến hành cùng với tính toán khả năng tháo của đường xả nước có áp theo các công thức trong mục 10.18.

Khi lỗ ngập nhiều thì:

$$(▼HL - ▼ms) > 3(h_{opg} - h_1)$$

trong đó:

▼ms - cao trình mép tràn của sàn;

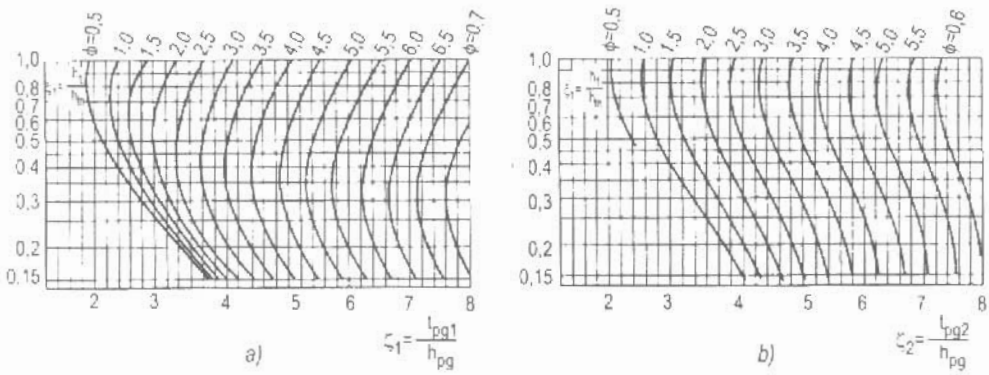
h_{opg} - cột nước đo áp dưới luồng chảy tại tuyến có bậc được tính theo công thức (10-125);

h_o - được xác định theo công thức (10-93).

Khi ($▼HL - ▼ms \le 3h_{opg} - h_1$) tính toán h_o nên tiến hành bằng cách giải bằng hệ phương trình (10-95), (10-96) (xem mục 10.18b).

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 10.62

10.27. PHUN XIẾT KHI XẢ NƯỚC QUA ĐƯỜNG XẢ NƯỚC CÓ ÁP

Khi lỗ xả nước không ngập và không có sàn sau lỗ việc tính toán cột nước đo áp h_o dùng để xác định ▼ôh - cao trình đo áp tại miệng ống hút sẽ khác với tính toán khi xả nước qua đập tràn chỉ ở chỗ là chiều sâu luồng chảy trên bậc h_1 bằng chiều cao lỗ xả. Do đó, các công thức trong bảng 10.9 vẫn có tác dụng. Nhưng khi có các trụ pin trung gian trong các lỗ có áp của tường xả nước trong trạng thái chảy mặt ($t > t_{pg2}$), ta nên tiến hành tính toán theo công thức:

$$h_o = \frac{-(2a-d) + \sqrt{(2a-d)^2 - 4(1-\beta_o)\left[a^2 - (a-d)d - dt - t^2 + \beta_o(h_1 - c)^2 + A\right]}}{2(1-\beta_o)} \qquad (10\text{-}181)$$

Ở đây và sau này A được xác định, cũng như trước, theo công thức (10-91); $\beta_o = B_o/B$.

Khi lỗ ngập, tính toán phun xiết được tiến hành cùng với tính toán khả năng tháo của đường xả nước có áp theo các công thức trong mục 10.18.

Khi lỗ ngập nhiều thì:

$$(\blacktriangledown HL - \blacktriangledown ms) > 3(h_{opg} - h_1)$$

trong đó:

▼ms - cao trình mép tràn của sàn;

h_{opg} - cột nước đo áp dưới luồng chảy tại tuyến có bậc được tính theo công thức (10-125);

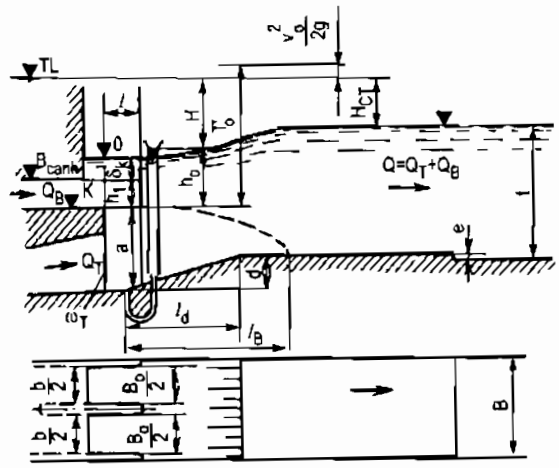
h_o - được xác định theo công thức (10-93).

Khi ($\blacktriangledown HL - \blacktriangledown ms \le 3h_{opg} - h_1$) tính toán h_o nên tiến hành bằng cách giải bằng hệ phương trình (10-95), (10-96) (xem mục 10.18b).

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Thí dụ: Cho mực nước thượng hạ lưu tính cột nước và lưu lượng của đường xả nước của trạm thủy điện kiểu kết hợp (hình 10.63) và cột nước của tuabin.



Hình 10.63

Cho:

▼TL = 40,39m;

▼HL = 24,28m;

▼B_m = 15,91m;

▼ms = 13,51m;

T'_o = 26,88m; h_1 = 2,40m;

Σb = 17,40m; ω_t = 41,8m^2;

a = 13,51m; d = 7,80m;

$l_{trụ}$ = 10,0m; B = 30,0m;

$l = \frac{17,4}{30} = 0,58$; B_o = 21,0m; $\beta_o = \frac{21,0}{30,0} = 0,70$; μ = 0,88; ω_T = 254m^2; c = 0; e = 0; t = 16,48m.

Giải:

1- Để xác định đặc tính dòng chảy từ đường xả nước có áp (ngập hoặc không ngập lỗ ra), ta tính lưu lượng đơn vị khi không ngập mép trên lỗ và số Frud tương ứng:

$$q = \mu h_1\sqrt{2g(\blacktriangledown TL - \blacktriangledown B_m)} = 0,88.2,40\sqrt{19,62(40,39-15,91)} = 46,2\ m^3/s$$

$$Fr_1 = \frac{q^2}{gh_1^3} = \frac{46,2^2}{9,81.2,40^3} = 15,74$$

2- Ta xác định xem lỗ xả có bị ngập hay không. Theo công thức (10-90) ta tính h_{opg}; vì $l_{tru} > h_1$, ta lấy $\beta' = \beta_o = 0,70$.

$$h_{opg} = 0,58h_1\sqrt{2\beta' Fr + 1} = 0,58.2,40\sqrt{2.0,70.15,74 + 1} = 6,68m$$

Trong trường hợp này $l_{trụ}$ = 10,0 > h_{opg} = 6,68m, vì vậy t_{pg} được tính theo công thức (10-87):

$$t_{pg} = \sqrt{(13,51-7,80)^2 + 2(13.54-7,80)6,68 + 0,70.2,40^2 + (1-0,70)6,68^2 + A}$$
$$= \sqrt{125,9 + A}$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Khi tính toán đại lượng A theo công thức (10-91) ta lấy cột nước tuabin bằng $H_T = H_t = \blacktriangledown TL - \blacktriangledown HL = 16,11m$ và tìm $Q_T = 620\ m^3/s$ theo đường đặc tính tổng hợp của tuabin. Lỗ của đường xả nước trong trường hợp này không bị ngập, tức là $Q_d = q\Sigma b = 46,2.17,40 = 804\ m^3/s$.

$$A = \frac{2}{9,81.30,0}\left[\frac{620^2}{254} + \frac{804^2}{41,8} - \frac{1425^2}{30,0.12,35}\right] = 78,4m^2$$

Khi tính, A lấy theo công thức (10-141)

$$t = a - d + h_{opg} = 13,51 - 7,80 + 6,68 = 12,39m$$

Để cho chính xác hơn, có thể tính lại bằng cách lấy chiều sâu $t = t_{pg} = 14,28m$ khi tính A. Trong trường hợp này ta có A = 83,5m; $t_{pg} = 14,4m$. Sự khác nhau giữa các kết quả tính toán không làm tăng thêm độ chính xác.

Do đó, chiều sâu trên sân tiêu năng, khi lỗ xả nước bị ngập $t = t_{pg} = 14,4m$. Với chiều sâu mực nước hạ lưu đã cho, các lỗ xả sẽ bị ngập vì $t_{pg} = 14,4m < t = 16,48m$.

3. Ta tính chiều sâu làm ngập mép trên của lỗ xả nước, cột nước và lưu lượng đi qua đường xả nước.

Dùng tiêu chuẩn:

$$\blacktriangledown HL - \blacktriangledown ms < 3(h_{opg} - h_1);\ \blacktriangledown HL - \blacktriangledown ms > 3(h_{opg} - h_1)$$

ta sẽ biết là nên dùng công thức nào để tính δ_K:

$$\blacktriangledown HL - \blacktriangledown ms < 3(h_{opg} - h_1);$$

$$24,28 - 13,51 < 3(6,68 - 2,40)m;\ 10,77 < 12,84m$$

tức tính toán được tiến hành theo các công thức (10-95) và (10-96).

Các giá trị δ_K được cho trong phạm vi $0 < \delta_K < \blacktriangledown HL - \blacktriangledown B_m = 24,28 - 15,91 = 8,37m$ và ta tính h. Tính toán ghi vào bảng A. Các giá trị δ_K được xác định bằng toán đồ (hình 10.42) ứng với sự thay đổi h_o trong phạm vi $h_{opg} \le h_o < \blacktriangledown HL - \blacktriangledown ms$, tức là $6 \le h_o \le 11,0$.

Bảng A

δ_K (m)	$\blacktriangledown O = \blacktriangledown B_{pg} + \delta_K + c$ (m)	$H_T = \blacktriangledown TL - \blacktriangledown O$ (m)	Q_1 (m^3/s)	Q_T (m^3/s)	A (m^2)	h_o (m)
3	18,91	21,48	756	600	77,2	10,2
5	20,91	19,48	718	645	69,3	9,8
6	21,91	18,48	700	660	65,8	9,5

Ta tính sơ bộ theo công thức (10-97) $r_o/h_1 = 17,70/2,40 = 7,38$; $T'_o - h_1 = 26,88 - 2,40 = 24,48$. Tính toán δ_K trên bảng B.

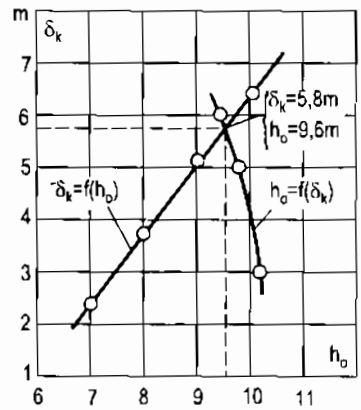
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng B

h_o (m)	7	8	9	10
$h_o - h_1$ (m)	4,60	5,60	6,60	7,60
$\frac{T'_o - h_1}{h_o - h_1}$	5,32	4,37	3,71	3,22
$\frac{\delta_K}{h_o - h_1}$ (theo toán đồ)	0,45	0,69	0,79	0,84
δ_K (m)	2,07	3,86	5,21	6,38

Giao điểm của các đường cong $h_o = f(\delta_K)$ và $\delta_K = f(h_o)$ cho ta trị số cần tìm của $\delta_K = 5,8m$ và $h_o = 9,6m$ (hình 10.64).



Hình 10.64

Cột nước tác dụng

$$H_T = \blacktriangledown TL - \blacktriangledown O = T'_o - (h_1 + \delta_K) =$$

$$= 26,88 - (2,40 + 5,8) = 18,68m$$

Ở đây $\delta_K = \delta + c = 5,8 + 0 = 5,8m$.

Lưu lượng đường xả nước

$$Q_1 = 0,88.41,8\sqrt{19,62.18,68} = 704 \ m^3/s$$

Khi tính cột nước theo hiệu của thượng - hạ lưu không kể đến đại lượng thực tế làm ngập lỗ, lưu lượng của đường xả nước bằng:

$$Q_1 = 0,88.41,8\sqrt{19,62(40,39 - 24,28)} = 650 \ m^3/s$$

tức là nhỏ hơn một lượng $\frac{704 - 650}{704}100 = 7,7\%$.

4- Xác định cột nước tuabin

Khi $h_o = 9,6m$ và $\blacktriangledown h_o = \blacktriangledown ms + h_o = 13,51 + 9,6 = 23,1m$

thì cột nước tuabin $H_{Tp.x} = \blacktriangledown TL - \blacktriangledown h_o = 40,39 - 23,1 = 17,3m$

tức là lớn hơn cột nước tính $H_t = 16,1m$ một độ cao bằng 1,2m.

Để xác định lượng tăng cột nước tuabin do hiệu quả của phun xiết, cần tính độ chênh phục hồi khi đường xả nước không làm việc (mục 10.24); theo công thức (10-164) ta tính cột nước tuabin không có phun xiết và theo công thức (10-166) - tính lượng tăng của cột nước tác dụng do phun xiết gây nên.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

I. ĐỔ VẬT LIỆU CHẶN DÒNG

Có hai phương pháp cơ bản để chặn dòng: 1) phương pháp đổ theo diện, tức là đổ phân bố đều trên toàn bộ chiều rộng của lòng dẫn; 2) phương pháp hợp long, vật liệu được đổ thành đê từ hai phía bờ và sẽ được nối với nhau ở giai đoạn chặn dòng. Thông thường đổ theo dạng con chạch, có mặt cắt gọn và chặt trước khi bắt đầu vận chuyển hàng loạt vật liệu dùng để đổ, là cách đổ kinh tế nhất.

Tính toán thủy lực chặn dòng nhằm giải quyết một trong các bài toán sau đây:

a) Chọn độ lớn D của vật liệu để bảo đảm chặn dòng bằng cách đổ;

b) Xác định chiều cao giới hạn h_1 của con chạch (khi đổ theo diện) hoặc chiều rộng B của đường thoát nước (khi đổ theo hợp long hoặc khi kéo đê trước lúc chặn dòng bằng phương pháp đổ theo diện), để khi đổ bằng vật liệu có độ lớn D vẫn giữ được mặt cắt gọn chặt;

c) Xác định dạng con chạch lúc phân lớp, khi xảy ra hiện tượng dòng chảy cuốn đi các hòn đá đổ có độ lớn D.

Trước khi chặn dòng, lưu lượng của lòng dẫn còn đi qua tuyến dẫn nước[1].

Khi chặn dòng theo diện ta có đẳng thức:

$$Q_{bt} = \Sigma Q_i = Q_d + Q_{th} + Q_d + Q_t \qquad (10\text{-}182)$$

trong đó:

Q_{bt} - lưu lượng bình thường của sông khi chặn dòng;

Q_d - lưu lượng trên đỉnh của đá đổ;

Q_{th} - lưu lượng thấm qua đá đổ;

Q_d - lưu lượng qua tuyến dẫn nước;

Q_t - lưu lượng tích lại trên thượng lưu.

Khi chặn dòng bằng hợp long trong đẳng thức (10-182) phải thay Q_d bằng lưu lượng trong đường thoát nước Q_{dth}.

Trong quá trình chặn dòng, lưu lượng Q_d (theo diện) hoặc Q_{dth} (theo hợp long) sẽ giảm đi và ở thời điểm con chạch trên toàn tuyến nổi lên khỏi mặt nước (hoặc đê nối liền hoàn toàn với nhau) các lưu lượng đó trở nên bằng không. Điều đó dẫn đến sự phân bố lại lưu lượng:

$$Q_{bt} = \Sigma Q_i = Q_{th} + Q_d + Q_t \qquad (10\text{-}182')$$

---

[1] Kênh dẫn đến - các lỗ tạm thời trong công trình (hoặc đường hầm xây dựng) - gọi là kênh dẫn đi.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Ở thời kì tiếp theo, khi thể tích thượng lưu đã chứa đầy và hiện tượng thấm rối đã ngừng hẳn, mực nước trước đá đổ sẽ tiếp tục dâng lên, đòi hỏi phải tăng chiều cao của đá đổ cho đến thời điểm khi $Q_{th} \approx 0$; $Q_t = 0$; $Q_{bt} = Q_d$.

Để thiết kế chặn dòng bằng đá đổ cần phải có số liệu về thủy văn trong thời gian thi công, bao gồm: lưu lượng nước Q_{bt} (m^3/s); chiều sâu bình thường h_{bt}, chiều rộng B của dòng chảy, cũng như các tài liệu về vật liệu dùng để đổ (tỉ trọng và các kích thước đá hoặc khối đổ được chuyển thành đường kính của hình cầu) và các đặc tính về khả năng tháo của tuyến dẫn nước dưới dạng quan hệ $Q_d = f(z)$, trong đó z - hiệu số mực nước của thượng và hạ lưu.

Khi tính toán chặn dòng của lòng dẫn tự nhiên, ở lần gần đúng thứ nhất nên dẫn bài toán về mặt cắt chữ nhật $\omega_{ld} = B.h$, lấy $h = h_{btmax}$. Chiều rộng lòng dẫn dẫn xuất $B = \omega_{ld}/h_{btmax}$, trong đó ω_{ld} - diện tích mặt cắt ướt lòng dẫn; h_{btmax} - chiều sâu lớn nhất của lòng dẫn bình thường tại tuyến đổ đá.

10.28. SỰ CÂN BẰNG CỦA ĐÁ TRONG DÒNG CHẢY

Có thể ngăn lòng dẫn bằng đá đổ với mặt cắt gọn chắc, nếu vật liệu dùng để đổ bảo đảm tính ổn định khi dòng chảy đạt đến vận tốc lớn nhất trên đỉnh đống đá đổ (khi đổ theo diện) hoặc trong đường thoát nước (khi đổ theo hợp long).

Giá trị của vận tốc giới hạn, mà với nó vật liệu đổ đã mất ổn định được xác định theo công thức của X. V. Izơbasơ[1]

$$v_p = Y_c \sqrt{2g \frac{\gamma_t - \gamma}{\gamma}} \sqrt{D} \qquad (10\text{-}183)$$

trong đó: Y_c - hệ số ổn định của đá chống trượt, thường lấy bằng 0,86 - 0,9;

γ, γ_t - trọng lượng của một đơn vị thể tích nước và đá;

D - đường kính của đá tính toán đổi thành dạng cầu

$$D = \sqrt[3]{\frac{6W}{\pi}} = 1{,}24 \sqrt[3]{W} \qquad (10\text{-}184)$$

trong đó: W - thể tích trung bình của đá.

Đường kính của khối nhân tạo tính toán đổi thành hình cầu bằng: đối với hình hộp có cạnh a, thì D = 1,24a; đối với hình chóp đáy tam giác có cạnh a – D = 0,61a; đối với tấm chữ nhật có các cạnh a × b × c, $D = 1{,}24 \sqrt[3]{abc}$.

---

[1] Izơbasơ X. V. Thủy lực trong thi công, NXBXD 1949.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

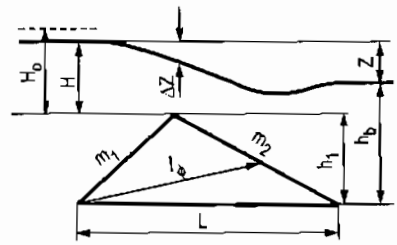
Từ (10-183) suy ra, với vận tốc v muốn đá có tính ổn định chống được trượt cần phải có đường kính:

$$D = \left(\frac{v}{0,86\sqrt{2g\dfrac{\gamma_1 - \gamma}{\gamma}}} \right)^2 \qquad (10\text{-}185)$$

10.29. TÍNH TOÁN CHẶN DÒNG THEO DIỆN

a) Mặt cắt ngang của con chạch có dạng gọn, chặt được xem là mặt cắt tam giác (hình 10.65) với hệ số mái dốc $m_1 = 1,25$ và $m_2 = 2$. Diện tích mặt cắt ngang của con chạch có chiều cao h_1 trong trường hợp này bằng:

$$\Omega = 0,5h_1(m_1 + m_2) \qquad (10\text{-}186)$$



Hình 10.65

Khi vận tốc trên đá đổ lớn hơn v_p, phần đổ thêm sẽ bị phân lớp[1].

b) Khả năng thoát của đá đổ làm việc như đập tràn được xác định theo công thức:

$$Q = mB\sqrt{2g}H_o^{3/2},\ q = m\sqrt{2g}H_o^{3/2} \qquad (10\text{-}187)$$

trong đó: B - chiều dài của diện đổ đá.

Hệ số lưu lượng[2] được tính theo công thức $m = 0,16(z/H_o)^{1/6}$ hoặc được xác định theo đồ thị trên hình 10.66.

Vận tốc trung bình trên đỉnh của đá đổ:

$$v_đ = \frac{Q}{B(H - \Delta z)} = \frac{q}{H(1 - \Delta z/H)} \qquad (10\text{-}188)$$

trong đó: $\Delta z/H$ được xác định theo đồ thị trên hình 10.66.

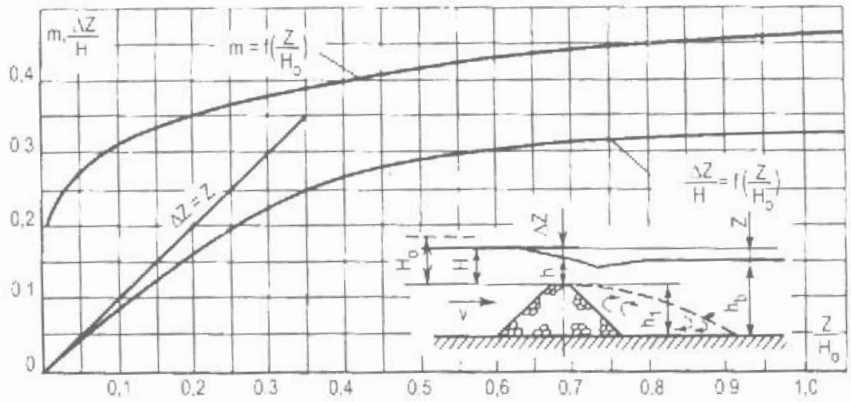
---

[1] Lêbêđép I. V. "Công trình MEI", loại Thủy năng, 1960, N°1; "Thông báo của VNHIIK", 1964, tập 67.

[2] Isbash S. V., Lebedev I. V. Change of natural streams during construction of hydraulic structures. JAHR - Ninth convention, Belgrade, 1961.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 10.66

Cũng vậy, vận tốc trung bình trên đỉnh đá đổ được tính theo công thức:

$$v_đ = \varphi\sqrt{2gz} \qquad (10\text{-}189)$$

trong đó:

$$\varphi = \frac{0,46}{\left(1 - \frac{\Delta z}{H}\right)\sqrt[3]{\frac{z}{H}}} \qquad (10\text{-}190)$$

c) Tính toán lưu lượng thấm qua đá đổ được tiến hành với mục đích xác minh các lưu lượng tháo trên đá đổ và theo tuyến dẫn nước. Lưu lượng thấm đơn vị qua đá đổ có mặt cắt gọn - chặt có thể tính theo công thức của X. V. Izơbasơ

$$q_{th} = h_1 v_{th} = h_1 K\sqrt{i_{th}} \qquad (10\text{-}191)$$

trong đó: i_{th} - độ dốc thủy lực trung bình của dòng thấm:

$$i_{th} = \frac{z}{1,7h_1} \qquad (10\text{-}192)$$

Hệ số K của thấm rối theo X. V. Izơbasơ (bảng 10.10)

$$K = n(20 - a/D)\sqrt{D} \quad (cm/s) \qquad (10\text{-}193)$$

trong đó:

n - độ rỗng của vật liệu trong đá đổ;

D - đường kính tương đương (cm);

a - hệ số, bằng 14 đối với đá dạng tròn, bằng 5 đối với đá dăm (độ rỗng n = 0,4).

Lưu lượng thấm thường được xác định bằng phương pháp thử dần (bỏ qua lưu lượng Q_{th} ban đầu, hoặc là, sau khi cho Q_{th}, tìm sự cân bằng lưu lượng bằng thử dần). Tuy nhiên, nếu biết lưu lượng thấm Q_{thmax} ứng với z_{rd} (ở thời điểm mà đá đổ nổi lên khỏi mặt nước), lưu lượng Q_{th} ứng với giá trị z bất kì trong phạm vi từ giá trị

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

ban đầu đến giá trị lớn nhất, thì có thể tìm gần đúng theo quan hệ sau đây (theo đề nghị của X. M. Xlixki):

$$Q_{th} = Q_{th\,max}\sqrt{\frac{z}{z_{ta}}} \qquad (10\text{-}194)$$

Bảng 10.10. Các hệ số thấm rối K (cm/s) của đá đổ

Loại vật liệu	Trọng lượng khối đá đổ (kg) khi γ_1 = 2,4 (T/m^3)								
	1,36	10,5	80	160	500	1000	3000	5000	10000
	Đường kính tương đương D (cm)								
	10	20	40	50	75	90	130	160	200
Đá, n = 0,4	23,5	34,5	50	57	69	–	–	–	–
Khối bêtông hình hộp n = 0,475	–	–	61	68	83	93	110	120	136
Khối bêtông hình chóp n = 0,5	–	–	–	76	93	100	120	140	150

d) Khả năng tích nước ở thượng lưu sẽ không được xét đến, nếu tiến hành đổ vật liệu với cường độ thấp, không liên tục, dẫn đến tình trạng chiều cao các phần đổ tăng lên chậm. Nó cũng không được xét đến khi dung tích thượng lưu nhỏ. Khi cường độ đổ vật liệu cao và dung tích thượng lưu đáng kể, ảnh hưởng của thể tích tích nước ở thượng lưu đến các điều kiện chặn dòng và kết quả tính toán có thể rất rõ. Theo số liệu của P. V. Bôrôđin, khi chặn dòng trên sông Vônga trong thời gian xây dựng công trình đầu mối Vôngagrat ở thời điểm đá đổ nổi lên khỏi mặt nước, do hiệu quả tích nước mà lưu lượng giảm xuống 20%. Khi có tích nước ở thượng lưu, quá trình đổ đá được xem như là không ổn định[1].

Khi đã cho đường cong quan hệ của diện tích mặt thoáng thượng lưu S = f(H), phương trình (10-182) về cân bằng lưu lượng có thể viết dưới dạng sau:

$$\bar{S}\Delta H = (Q_{bt} - Q_d - Q_{th} - Q_d)\Delta t \qquad (10\text{-}195)$$

trong đó:

Δt - khoảng thời gian đang xét;

S - diện tích trung bình của mặt thoáng ở thượng lưu khi mực nước dâng lên một lượng ΔH.

---

[1] Emxep B. T. "Xây dựng kĩ thuật thủy lợi", 1956. Bôrôđin P. V. "Xây dựng kĩ thuật thủy lợi", 1959. N°8.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Sự thay đổi chiều cao phần đổ sau thời gian Δt, ứng với chiều cao ban đầu h_1, có thể tìm từ điều kiện cân bằng giữa thể tích đá $u_K \Delta t$ được đổ xuống nước với thể tích phần đổ được tăng lên.

$$u_K \Delta t = m_{tb}(h_2^2 - h_1^2) \qquad (10\text{-}196)$$

trong đó:

h_2 và h_1 - chiều cao phần vật liệu đã được đổ giữa các giai đoạn đổ kế tiếp;

u_K - cường độ đổ vật liệu (m^3/h) trên 1m dài của con chạch, $m_{tb} = 0,5(m_1 + m_2)$.

Nếu tại một thời điểm t_1 nào đó mà chiều cao của đá đổ có mặt cắt gọn - chặt bằng h_1, thì với cường độ đổ u_K, chiều cao phần đổ ở thời điểm t_2 bằng:

$$h_2 = \sqrt{u_K \Delta t / m_{tb} + h_1^2} \qquad (10\text{-}197)$$

Thí dụ: Xác định đường kính của đá đủ để chặn dòng bằng đá đổ có mặt cắt gọn - chặt với các số liệu ban đầu: chiều rộng ở thượng lưu $B_{TB} = 39m$; chiều rộng đường thoát nước $B = 18m$; $Q_{bt} = 76\ m^3/s$; chiều sâu hạ lưu $h_{bt} = 4,18m$. Thể tích của lòng hố được tạo nên trong quá trình chặn dòng là bé, nên không xét đến hiệu quả tích nước: $Q_t = 0$. Đường dẫn nước được xây dựng dưới dạng đường hầm có áp $\omega_d = 15m^2$; hệ số lưu lượng của tuyến dẫn nước $\mu_{dd} = 0,8$. Trọng lượng thể tích của đá $\gamma_1 = 2,6\ T/m^3$.

Giải:

1- Ta cho đường kính đá $D = 0,25m$ và theo công thức (10-183) xác định vận tốc khi đá trong phần đã được đổ mất ổn định. Ta có $v_{cp} = 2,42$ m/s.

2- Lưu lượng qua tuyến dẫn nước bằng

$$Q_{dn} = \mu_d.\omega_d\sqrt{2gz} = 0,8.15,0.4,43.\sqrt{z} = 53\sqrt{z} \quad (m^3/s) \qquad (a)$$

3- Lưu lượng thấm được xác định bằng công thức (10-191):

$$Q_{th} = Bh_1 K\sqrt{i_{th}} = 18h_1.0,39\sqrt{i_{th}} = 7h_1\sqrt{i_{th}} \quad (m^3/s) \qquad (b)$$

Trong đó hệ số thấm rối được xác định theo công thức (10-193) khi $n = 0,4$:

$$K = n\left(20 - \frac{q}{D}\right)\sqrt{D} = 0,4\left(20 - \frac{14}{25}\right)\sqrt{25} = 39\ \text{cm/s}$$

4. Lưu lượng trên đỉnh đống đá đổ khi $m = 0,46(z/H_o)^{1/6}$ là:

$$Q_d = mB\sqrt{2g}H^{3/2} = 0,46(z/H_o)^{1/6} B\sqrt{2g}H_o^{3/2} =$$

$$= 0,46.z^{1/6}.18,0.4,43.H_o^{4/3} = 36,7z^{1/6}H_o^{4/3}$$

Do đó ta có cột nước trên đỉnh (bỏ qua vận tốc đến gần)

$$H\left[\frac{Q_d}{36,7z^{1/6}}\right]^{3/4} \quad (m) \qquad (c)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Trong quá trình tính toán, lưu lượng trên đỉnh, khi đã cho Q_{bt} và đã biết Q_{dn} và Q_{th}, được xác định theo công thức:

$$Q_d = Q_{bt} - Q_d - Q_{th}$$

5- Độ chênh cuối cùng z_c, hình thành sau khi hiện tượng thấm ngừng hẳn, được xác định theo công thức (a)

$$Q_{dn} = 53\sqrt{z};\ z_c = \frac{(Q_d)^3}{53} = \left(\frac{76}{53}\right)^3 = 2,05\ \text{m}$$

6- Độ chênh khi đá đổ nổi lên khỏi mặt nước, được xác định theo lưu lượng tháo qua trong thời điểm này bằng tuyến dẫn nước có xét đến hiện tượng thấm qua đá đổ. Chiều cao đá đổ khi nổi lên khỏi mặt nước sẽ hơi bé hơn đại lượng $h_{bt} + z_{ra}$ = 4,18 + 2,05 = 6,23m. Lấy chiều cao con chạch khi nổi lên khỏi mặt nước ở lần gần đúng thứ nhất bằng 6m (tức là z_{ra} = 6,0 – 4,18 = 1,82m), theo công thức (b) ta tìm lưu lượng thấm bằng:

$$Q_{th\,max} = 7h_1\sqrt{i_{th}} = 7.6,0\sqrt{0,18} = 18\ \text{m}^3/\text{s}$$

Trong đó theo công thức (10-192):

$$i_{th} = \frac{z}{1,7h_1} = \frac{1,82}{1,7.6,0} = 0,18$$

Do đó phần còn lại cho tuyến dẫn nước là $Q_{dn} = Q_{bt} - Q_{thmax}$ = 76 – 18 = 58 m^3/s và độ chênh theo công thức (a) bằng

$$z_{ra} = \left(\frac{58}{53}\right)^2 = 1,2\text{m}$$

Trong lần gần đúng thứ hai:

$$h_1 = h_{bt} + z_{ra} = 4,18 + 1,2 = 5,4\text{m};\quad i = \frac{1,2}{1,7.5,4} = 0,13;$$

$$Q_{th} = 7.5,4\sqrt{0,13} = 13,6 \approx 14\ \text{m}^3/\text{s};$$

$$Q_{dn} = 76 - 14 = 62\ \text{m}^3/\text{s};\ z_{ra} = \left(\frac{62}{53}\right)^2 = 1,4\text{m}.$$

Không cần tiến hành làm chính xác hơn vì các công thức đang dùng là gần đúng.

7- Lưu lượng thấm qua đá đổ gọn - chặt, khi độ chênh thượng hạ lưu là z và Q_{thmax} = 14 m^3/s và z_{ra} = 1,4m, theo công thức (10-194) bằng:

$$Q_{th} = Q_{th\,max}\sqrt{\frac{z}{z_{ra}}} = 14\sqrt{\frac{z}{1,4}} = 11,8\sqrt{z} \qquad (d)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

8- Hãy cho z các đại lượng tùy ý trong phạm vi từ z = 0,35m đến z = z_{ra} = 1,4m. Tính toán ghi trong bảng 10.11. Ta tính: theo công thức (a) lưu lượng qua tuyến dẫn nước Q_{dn}; lưu lượng tổng cộng $Q_{dn} + Q_{th}$ đi qua tuyến đá đổ; theo công thức (d) - lưu lượng thấm; lưu lượng $Q_d = Q_{bt} - Q_{th} - Q_{dn}$ trên đỉnh đá đổ; lưu lượng đơn vị q_d; theo công thức (c) - cột nước trên đỉnh đá đổ H; chiều cao đá đổ h_1; độ chênh tương đối z/H: theo công thức (10-188) hoặc (10-189) - vận tốc trung bình trên đỉnh đá đổ.

Bảng 10.11. Tính toán chặn dòng bằng phương pháp điện

z	Q_d (a)	$Q_d+Q_{th}=Q_{bt}-Q_{dn}$	Q_{th} (d)	$Q_d=Q_{bt}-Q_{dn}-Q_{th}$	$q_d=\frac{Q}{B}$	H (c)	$h_1=h_{bt}+z-H$	$\frac{z}{H}$	$\frac{\Delta z}{H}$ (H. 10.66)	v_d (10-188) hay (10-189)
m	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m	m	–	–	m.s
0,35	31,4	44,6	7,0	37,6	2,09	1,16	3,37	0,302	0,225	2,32
0,40	33,6	42,4	7,5	34,9	1,94	1,08	3,40	0,37	0,26	2,42
0,50	37,6	38,4	8,3	30,1	1,67	0,94	3,64	0,53	0,30	2,54
0,60	41,0	35,0	9,1	25,9	1,44	0,82	3,96	0,73	0,32	2,58
0,75	46,0	30,0	10,2	19,8	1,10	0,65	4,28	1,25	0,325	2,50
1,00	53,0	23,0	11,8	11,2	0,65	0,41	4,77	2,44	0,325	2,36
1,4	62,0	14,0	14,0	0	0	0	5,58	–	–	–
2,05	76,0	0	0	0	0	0	6,23 - các số liệu ứng với độ chênh hình thành sau khi thấm rồi kết thúc			

Từ tính toán ta thấy vận tốc v_d đạt đến trị số max khi z = 0,6m. Vận tốc v_d khi 0,40 < z ≤ 1,00m sẽ lớn hơn trị số cho phép chống trượt của đá có đường kính đã cho là D = 0,25m (vận tốc cho phép v_{cp} = 2,42 m/s xem mục 1 tính toán).

9- Theo công thức (10-185) ta xác định được kích thước của đá bảo đảm đá đổ có mặt cắt gọn - chặt

$$D = \left(\frac{v}{0,86\sqrt{2g\frac{\gamma_1 - \gamma}{\gamma}}} \right)^2 = \left(\frac{2,58}{0,86\sqrt{19,62\frac{2,6-1,0}{1,0}}} \right)^2 \approx 0,3m$$

Lưu lượng thấm được tính khi D = 0,30m sẽ hơi lớn hơn lưu lượng khi D = 0,25m, do đó lưu lượng Q_{th} tại từng thời điểm đang xét sẽ nhỏ hơn là tính theo bảng 10.11. Tuy nhiên do sự khác nhau về kích thước giữa đá đã cho và đá tính toán không lớn,

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

nên không cần tiến hành tính toán gần đúng lần thứ hai (độ chính xác sẽ nằm trong phạm vi sai số cho phép).

10- Diện tích mặt cắt ngang của đá đổ được tính theo công thức (10-186).

10.30. TÍNH TOÁN CHẮN DÒNG THEO PHƯƠNG PHÁP HỢP LONG[1]

Cần phân biệt hai giai đoạn của phương pháp chắn dòng bằng hợp long:

1. Giai đoạn kéo đê (trước thời điểm nối hai đầu mái đê ở đáy).

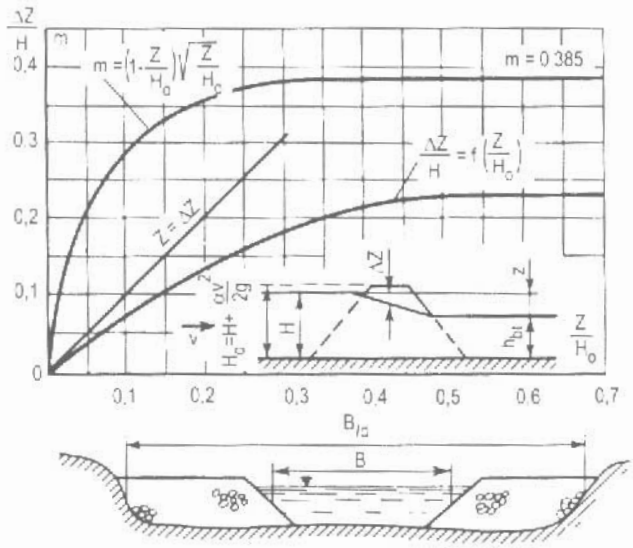
2. Giai đoạn nối đê (trước thời điểm nối hoàn toàn đầu mái đê).

a) Đường viền của đá đổ có mặt cắt gọn - chặt (hình thang khi đỉnh được sử dụng để vận chuyển vật liệu đắp đê) có thể hình thành trên tất cả các giai đoạn tiến hành đổ đá khi kích thước của vật liệu tăng dần cùng với sự thu hẹp khoảng cách giữa hai đê hợp long.

b) Khả năng thảo của đường thoát nước được xác định theo công thức (10-187), trong đó $B = \overline{B}$. Hệ số lưu lượng tìm theo đồ thị trên hình 10.67 hoặc khi $z/H < 0,35$ theo công thức:

$$m = (1 - z/H_0)\sqrt{z/H} \qquad (10\text{-}198)$$

Khi $z/H > 0,35$ nên lấy $m = 0,385$.



Hình 10.67

[1] Lêbêdep I. V. - "Thông báo của VNHIIK", 1964, tập 67. "Công trình MEI", loại Thủy năng, 1960. N°1.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Khả năng tháo của đường thoát nước có thể xác định sơ bộ theo công thức:

$$Q_{d.th} = \varphi\varepsilon\bar{B}h_{bt}\sqrt{2gz} \qquad (10\text{-}199)$$

trong đó: $\bar{B}$ - chiều rộng trung bình của đường thoát;

φ và ε - hệ số vận tốc và co hẹp (xem mục 2 của thí dụ).

Vận tốc trung bình trong đường thoát có chiều rộng $\bar{B}$ được tính theo công thức (10-188). Tỉ số $\Delta z/H$ được tìm theo đồ thị trên hình 10.67.

c) Lưu lượng thấm qua đê hợp long

$$Q_{th} = KB_{ld} - \bar{B}(h_{bt} + z)\sqrt{i_{th}} \qquad (10\text{-}200)$$

trong đó: K - hệ số thấm rối (xem bảng 10.10);

B_{ld} và $\bar{B}$ - chiều rộng lòng dẫn cần chặn dòng và đường thoát nước;

$h_{bt} + z$ - chiều sâu thượng lưu;

z - độ chênh mực nước;

i_{th} - độ dốc thủy lực trung bình của dòng thấm (hình 10.65).

Khi $l_{th} \approx L$:

$$i_{th} = \frac{z}{2m_{th}(h_{bt} + z) + l_d} \qquad (10\text{-}201)$$

m_{tb} - hệ số trung bình của mái dốc.

Chiều rộng mặt đê l_d được xác định theo yêu cầu của công tác thi công.

d) Vận tốc cực đại trong đường thoát nước xảy ra ở thời điểm nối đê tại đáy. Vì vậy việc tính toán chặn dòng theo hợp long chỉ cần tiến hành cho thời kì kéo đê. Khi nối đê, chiều rộng trung bình của đường thoát nước (với mái dốc m_{tb}) ở đáy bằng:

$$\bar{B} = m_{tb}(H - \Delta z) = m_{tb}H\left(1 - \frac{z}{H}\right) \qquad (10\text{-}202)$$

e) Độ chênh tại thời điểm nối đê được xác định bằng cách vẽ đường cong $\Sigma Q = f(z)$ và tìm z ứng với lưu lượng đã cho Q_{bt}.

g) Xác định diện tích mặt cắt ngang của đá đổ và xét khả năng tích nước ở thượng lưu cũng tiến hành như khi đổ theo diện (xem hình 10.29d).

Trình tự tính toán chặn dòng theo hợp long được trình bày trong thí dụ.

Thí dụ: Lòng dẫn thẳng không xói được chặn dòng bằng phương pháp hợp long. Tính toán chặn dòng bằng cách đổ các khối bêtông hình hộp γ_t = 2,4 T/m^3 khi chiều rộng mặt đê ở phía trên l_d = 10m nếu lưu lượng sông chia thành năm đoạn bằng đập tràn đang xây dựng, mỗi đoạn rộng b = 20m ở tại mức đáy sông. Chiều rộng lòng dẫn B_d = 393m, Q_{bt} = 5400 m^3/s; chiều sâu bình thường h_{bt} = 8,4m.

Giải:

1- Khả năng thoát nước của đường dẫn nước (đỉnh đập tràn bị ngập) khi q = 0,88 và hệ số co hẹp dòng chảy do trụ đỉnh $\varepsilon \approx 1$ được xác định theo công thức:

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$Q_d = \varphi n b h_{bt} \sqrt{2gz_o} = 0,88.5.20.8,4.4,43\sqrt{z_o} \approx 3280\sqrt{z_o}$$

2- Ta lấy sơ bộ D = 0,9m, tức là ứng với hệ số thấm K = 0,93 m/s (bảng 10.10). Vận tốc giới hạn:

$$v_{min} = Y_c\sqrt{2g\frac{\gamma_1 - \gamma}{\gamma}\sqrt{D}} = 0,9\sqrt{2g\frac{2,4-1,0}{1,0}\sqrt{0,9}} = 4,46 \text{ m/s}$$

3- Độ chênh cuối cùng (sau khi nối đê và hiện tượng thấm chấm dứt khi $Q_{thác} = 0$; $Q_{dn} = Q_{bt} = 5.400$ m^3/s) được xác định theo công thức (a):

$$z_c = \left(\frac{Q_{bt}}{3280}\right)^2 = \left(\frac{5400}{3280}\right)^2 = 2,7\text{m}$$

4- Lưu lượng thấm qua đê

$$Q_{th} = K(B_{ld} - B)(h_{bt} + z)\sqrt{i_{th}} = 0,93(393 - B)(8,4 + z)\sqrt{i_{th}} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \qquad (b)$$

Khi tính độ dốc i_{th} theo (10-201), chiều dài của đường thấm bằng (lấy $z = z_c$, điều đó ứng với chiều sâu lớn nhất ở thượng lưu):

$$l_{th} = 2m_{tb}(h_{bt} + z_c) + l_d = 2.1,25(8,4 + 2,7) + 10 \approx 37,8\text{m}$$

Lúc đó:
$$\sqrt{i_{th}} = \sqrt{\frac{z}{37,8}} \qquad (c)$$

5- Theo công thức (10-202), ta tính chiều rộng trung bình của đường thoát nước tại thời điểm nối đê ở giai đoạn kéo đê (lấy hệ số mái dốc $m_{tb} = 1,25$).

Lưu lượng qua đường thoát nước Q_{dth} tại thời điểm nối đê ở giai đoạn kéo chúng, được xác định theo công thức (10-187).

6- Sau khi cộng lưu lượng $Q_{dn} + Q_{th} + Q_{dth} = \Sigma Q$, vẽ đường cong $\Sigma Q = f(z)$ và cho $\Sigma Q = 5400$ m^3/s ta xác định được độ chênh tại thời điểm nối mái đê $z_n = 1,6$m.

Tất cả tính toán ghi vào bảng 10.12 theo thứ tự ứng với trình tự tính toán.

Bảng 10.12. Về tính toán chặn dòng bằng hợp long

z	Q_{dn} (a)	$H = h_{bt}+z$	$\frac{z}{H}$	m (10-198)	$\sqrt{i_{th}}$ (c)	$\frac{\Delta z}{H}$ (H. 10.67)	$\bar{B} = m_{tb}H.\left(1-\frac{\Delta z}{H}\right)$ (10-202)	$B_{ld}-B$	Q_{th} (b)	Q_{dth} (10-187	ΣQ
m	m^3/s	m	–	–	–	–	m	m	m^3/s	m^3/s	m^3/s
0,8	2940	9,2	0,087	0,28	0,145	0,06	10,8	382,2	474	374	3,79
1,0	3280	9,4	0,106	0,29	0,166	0,07	10,9	382,1	554	404	4,23
1,4	3880	9,8	0,143	0,32	0,193	0,10	11,0	382,0	673	493	5,05
1,5	4020	9,9	0,151	0,33	0,200	0,11	11,1	381,9	702	504	5,23
1,74	4340	10,15	0,173	0,34	0,216	0,12	11,2	380,8	775	593	5,71
1,6	4150	10,0	0,160	0,336	0,203	0,11	11,2	381,8	725	528	5,40

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Ở hàng cuối của bảng 10.12 là số liệu tính toán kiểm tra khi z_n = 1,60m. Chiều rộng trung bình của đường thoát nước tại thời điểm nối $B_n \approx 11,2$m khi hệ số mái dốc của phần đầu đê $m_{tb} = 1,25$.

7- Vận tốc trong đường thoát tại thời điểm nối đê tại đáy theo (10-188)

$$v = \frac{Q_{dth}}{\overline{B}_n H\left(1-\frac{z}{H}\right)} = \frac{528}{11,2.10,0(1-0,11)} = 5,3 \text{ m/s}$$

8- Đường kính tương đương của khối bêtông theo công thức (10-185)

$$D = \left(\frac{v}{0,86\sqrt{2g\frac{\gamma_1-\gamma}{\gamma}}}\right)^2 = \left(\frac{5,3}{0,86.4,43\sqrt{\frac{2,4-1,0}{1,0}}}\right)^2 = 1,18 \approx 1,2\text{m}$$

tức là khi bắt đầu tính toán đại lượng D lấy sơ bộ có trị số thấp hơn; theo tính toán, đường kính vật liệu dùng để đổ lớn hơn đường kính để tính lúc đầu là 0,3m. Lấy D = 1,2m, ta có các cạnh của khối bêtông hình hộp a = D/1,24 ≈ 1m.

Khi có sự khác nhau lớn giữa đường kính D tính toán và đường kính lấy lúc đầu, thì phải tiến hành tính gần đúng lần thứ hai.

9- Thể tích vật liệu của đoạn nối đê, tức là khi $\overline{B} < \overline{B}_n$ lấy bằng $\Omega.\overline{B}$, trong đó Ω - diện tích mặt cắt của khối đã được đổ.

Đối với giai đoạn kéo đê khi $\overline{B} > \overline{B}_n$ việc tính toán $\overline{B}$, v và z khi đã cho giá trị $z < z_n$ được tiến hành bằng con đường giống như trên, trong đó đối với các giá trị z đã cho thì bằng cách thử dần [vẽ đường cong $\Sigma Q = f(\overline{B})$] ta tìm giá trị $\overline{B}$ để thỏa mãn điều kiện biểu thị bằng công thức (10-182) khi $Q_d = Q_{dth}$.

Nếu với một giá trị nào đấy của B mà độ lớn của vật liệu bé hơn độ lớn cần thiết để có mặt cắt gọn - chặt, thì sẽ xảy ra hiện tượng đá bị cuốn đi và hình thành các hang lõm. Khối lượng vật liệu lúc này được xác định bằng tính toán.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Chương 11

CHUYỂN ĐỘNG CỦA BÙN CÁT VẬN CHUYỂN BẰNG SỨC NƯỚC

11.1. CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN VÀ ĐỘ THÔ THỦY LỰC

Bùn cát là tổ hợp các hạt rắn chuyển động trong dòng nước. Cùng một loại hạt đất có thể di chuyển trên đáy hoặc trong dòng chảy tùy theo vận tốc và chiều sâu của dòng chảy. Các hạt bị tách khỏi đáy là do chúng được chảy bao không đối xứng nên sau chúng hình thành một vùng tách dòng, là nơi xuất hiện các xoáy của dòng rối.

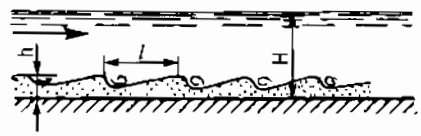
Bùn cát đáy là các hạt rắn, khi di chuyển thường xuyên tiếp xúc với đáy và khoảng cách giữa các vị trí tiếp xúc liên tiếp có giá trị không lớn.

Bùn cát lơ lửng di chuyển trong dòng chảy theo một quỹ đạo phức tạp, trong đó khoảng cách giữa vị trí tiếp xúc này đến vị trí tiếp xúc khác có giá trị lớn.

Ta phân biệt ba trị số vận tốc trung bình của dòng lơ lửng, dùng làm đặc trưng cho chuyển động bùn cát: 1) vận tốc khởi động; 2) vận tốc tạo nên các sóng cát hoặc các cồn cát trên đáy dòng chảy; 3) vận tốc đẩy nổi các hạt rắn.

Vận tốc khởi động hay vận tốc xói v_k - là vận tốc làm cho các hạt riêng biệt bắt đầu chuyển động (xem mục 11.3). "Sự tách hạt đại trà" theo thuật ngữ của Saphernak hoặc "sự di đẩy dầy đặc" theo thuật ngữ của M. A. Velicanôp sẽ bắt đầu khi vận tốc lớn hơn vận tốc khởi động. Sự di chuyển bùn cát ở đáy thường xảy ra khi $v < 1,3v_k$, khi $v > 1,3v_k$ bùn cát ở trạng thái lơ lửng.

Sự chuyển động với khối lượng lớn của bùn cát đáy dẫn đến sự hình thành các sóng cát. Ở đây các hạt "chạy" trên mặt thoải thượng lưu của sóng và rơi vào phần bóng sau sóng và lắng chìm ở đó. Kết quả là xảy ra một sự di chuyển chậm của sóng xuôi theo dòng chảy (hình 11.1).



Hình 11.1: *Sóng cát*

Kết quả nghiên cứu chứng tỏ là quá trình di chuyển đó của bùn cát có thể xảy ra khi vận tốc trung bình của dòng chảy $v < 1,5\sqrt{gH}$ (H - chiều sâu dòng chảy). Khi $v > 1,5\sqrt{gH}$ trên đáy lòng dẫn hình thành các "đụn cát ngược" di chuyển ngược dòng chảy tùy theo mức độ xói đỉnh của chúng. Khi các chiều sâu tương đối (H/d_5)

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

lớn, các cồn cát ngang được hình thành ở ngay vận tốc khởi động. Với chiều sâu bất kì, các sóng cát xuất hiện khi vận tốc trung bình v = v':

$$v' = 1,77 v_k \left(\frac{d_5}{H}\right)^{1/12} \qquad (11\text{-}1)$$

trong đó:

d_5 - đường kính của hạt lớn nhất chiếm 5% trọng lượng toàn bộ bùn cát;

v_k - được xác định theo công thức (11-27) hoặc (11-28).

Các sóng cát phát triển mạnh nhất khi v = v'':

$$v'' = 0,75 v''' + 0,25 v' \qquad (11\text{-}2)$$

trong đó: v''' - vận tốc trung bình của dòng chảy khi các sóng cát (cồn cát) hoàn toàn biến mất:

$$v''' = 1,77 v_k \left(\frac{H}{d_5}\right)^{1/12} \qquad (11\text{-}3)$$

Khi vận tốc trung bình v = v''', các cồn cát trên đáy dòng chảy sẽ biến mất và toàn bộ bùn cát ở trạng thái lơ lửng. Vận tốc lơ lửng v''' - vận tốc trung bình mà tại đó tất cả bùn cát chuyển sang trạng thái lơ lửng và đồng thời cũng là vận tốc trung bình bé nhất của dòng chảy mà tại đó bùn cát lơ lửng vẫn chưa rơi xuống đáy lòng dẫn. Vì vậy nó cũng được gọi là vận tốc không lắng và vận tốc phân giới (các công thức tính toán xem mục 11.4). Vận tốc lơ lửng là tiêu chuẩn để phân bùn cát thành bùn cát đáy và bùn cát lơ lửng.

Độ bão hòa bùn cát lơ lửng của dòng chảy trong lòng dẫn thường được đặc trưng bằng độ đục[1] - bằng số bùn cát tính theo trọng lượng hoặc thể tích có trong dòng chảy trong một đơn vị thể tích. Trong các điều kiện thủy lực đang xét, độ đục lớn nhất của dòng chảy ρ_T được gọi là sức tải của nó. Khi đã biết v_{kl}, để xác định sức tải đó ta dùng công thức (11-48) hoặc các công thức trong mục 11.2.

Bùn cát được phân bố không đều theo chiều sâu. Tại đáy bùn cát di chuyển nhiều nhất, tại mặt thoáng - ít nhất. Trong mục 11.2 trình bày các quan hệ tính toán về phân bố bùn cát theo chiều sâu.

Đặc trưng của bùn cát là kích thước các hạt (phân tích hạt), trọng lượng riêng của chúng và hành trạng của các hạt rắn trong nước. Trọng lượng riêng của các hạt đất rắn thường nằm trong phạm vi từ $2,4.10^3$ kg/m^3 đến $2,8.10^3$ kg/m^3 loại

---

[1] Trong vận tải bằng sức nước, độ bão hòa bùn cát của dòng chảy được đặc trưng bằng nồng độ hoặc độ đặc (xem mục 11.5).

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

hạt cát - sỏi thường hay gặp có trọng lượng riêng $2,65.10^3$ kg/m^3. Độ thô của bùn cát được đặc trưng bằng đường kính trung bình của hạt, mà về nguyên tắc được xác định khi phân tích cơ học theo:

$$d = \frac{\sum_{i=1}^{n} d_i p_i}{P} \qquad (11\text{-}4)$$

trong đó: d_i - đường kính hạt;

p_i - trọng lượng của cỡ hạt đang xét;

P - trọng lượng của toàn mẫu.

$$P = \sum_{i=1}^{n} p_i \qquad (11\text{-}5)$$

Đặc trưng thủy lực cơ bản của bùn cát là độ thô thủy lực w, là vận tốc rơi đều của một hạt rắn đơn độc trong nước tĩnh. Độ thô thủy lực phụ thuộc vào hình dạng của hạt, trọng lượng riêng của nó và nhiệt độ nước. Thông số không thứ nguyên, giống như số Râynôn, dùng để xác định trạng thái chảy bao hạt:

$$Re_w = \frac{wd}{\nu} \qquad (11\text{-}6)$$

trong đó: w - độ thô thủy lực;

d - đường kính hạt;

ν - hệ số nhớt động của nước.

Độ thô thủy lực w được xác định bằng thực nghiệm hoặc tính theo công thức. Đối với trường hợp chảy bao hạt là tầng ta dùng công thức lí thuyết của Stoks:

$$w = \frac{\gamma_1 - \gamma}{24\mu} d^2 \qquad (mm/s) \qquad (11\text{-}7)$$

trong đó: γ_1 và d - trọng lượng riêng và đường kính của các hạt rắn;

γ và μ - trọng lượng riêng và hệ số nhớt động lực của nước.

Công thức (11-7) đúng khi $Re_w \le 1,0$ và $d \le 0,15$mm.

Khi $1,0 \le Re_w \le 240$ và $0,15\text{mm} < d \le 1,5\text{mm}$ độ thô thủy lực có thể xác định theo công thức:

$$w = \sqrt[3]{\frac{(\gamma_1 - \gamma)^2}{\rho\mu}} \beta d \qquad (mm/s) \qquad (11\text{-}8)$$

trong đó: ρ - mật độ của nước;

β - hệ số thực nghiệm xét đến độ giảm ảnh hưởng của nhớt khi tăng đường kính hạt:

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$\beta = 0,0811 \lg 83 \left(\frac{3,7d}{0,15}\right)^{1-0,037t}$$

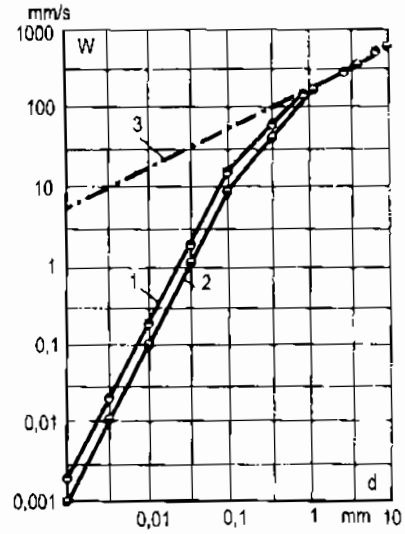
trong đó: t - nhiệt độ của nước (°C).

Khi $Re_w > 240$ và $d > 1,5$mm.

$$w = \sqrt{\frac{2g(\gamma_1 - \gamma)d}{1,75\gamma}} \quad (mm/s) \qquad (11\text{-}9)$$

trong đó: g - gia tốc rơi tự do.

Trên hình 11.2 đã trình bày bằng đồ thị quan hệ giữa kích thước hạt và độ thô thủy lực của chúng. Các đường cong do V. N. Gônsarôp vẽ theo các công thức (11-7), (11-8), (11-9) đối với $\gamma = 2,65.10^3$ kg/m^3. Trong các bảng 11.1 và 11.2 trình bày thang thực nghiệm của V. N. Gônsarôp đối với w, là thang mà hiện nay được xem là chính xác nhất.



Hình 11.2: *Quan hệ giữa độ thô thủy lực và các kích thước hạt bùn cát.*
1. Khi nhiệt độ t = 20°C;
2. Khi t = 5°C;
3. w tính theo công thức (11-9) ở ngoài phạm vi ứng dụng của nó

Nếu trạng thái chảy bao hạt không được cho trước, thì nên dùng công thức Rubi đúng cho số Râynôn bất kì

$$w = F\sqrt{dg\frac{\rho_b - \rho}{\rho}} \qquad (11\text{-}10)$$

trong đó: $F = \sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36\mu^2}{gd\rho(\rho_b - \rho)}}$;

ρ_b - mật độ của bùn cát;

β - mật độ nước;

d - đường kính trung bình của hạt bùn cát;

μ - hệ số nhớt động lực của nước.

Trong hệ CGS khi $d < 0,1$cm thì $F = 0,816$.

Bảng 11.1. Các giá trị của độ thô thủy lực w = f(d) (theo V. N. Gônsarôp)

d (mm)	w (mm/s)	d (mm)	w (mm/s)	d (mm)	w (mm/s)
1,50	164,4	6,00	329,0	17,50	562,0
1,75	178,0	7,00	355,0	20,00	602,0
2,00	190,0	8,00	380,0	22,50	637,0
2,50	212,5	9,00	403,0	25,00	672,0
3,00	232,5	10,00	425,0	27,50	706,0
4,00	268,5	12,50	477,0	30,00	736,0

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 11.12. Các giá trị của độ thô thủy lực w = f(d, t) (theo V. N. Gônsarôp)

Đường kính hạt d (mm)	Độ thô thủy lực w (mm/s) khi nhiệt độ t (°C)				
	10	15	20	25	30
0,001	0,00068	0,00079	0,0009	0,001	0,0011
0,010	0,068	0,079	0,090	0,100	0,110
0,015	0,154	0,178	0,210	0,225	0,253
0,02	0,274	0,316	0,360	0,400	0,450
0,03	0,618	0,710	0,810	0,900	1,012
0,04	1,099	1,263	1,440	1,600	1,800
0,05	1,717	1,973	2,270	2,500	2,812
0,07	2,51	2,88	3,25	3,65	4,10
0,10	5,12	5,88	6,63	7,44	8,37
0,15	11,50	13,25	14,90	16,75	18,84
0,20	17,11	18,76	20,42	22,06	23,72
0,25	22,67	24,39	26,02	27,66	29,32
0,30	28,31	29,96	31,62	33,26	34,92
0,40	39,51	41,16	42,92	44,46	46,12
0,50	50,71	52,36	54,02	55,66	57,32
0,60	61,91	63,56	65,22	66,86	68,52
0,70	73,11	74,76	76,42	78,66	79,72
0,80	84,31	85,96	87,62	89,26	90,92
0,90	95,71	97,36	99,02	100,46	102,12
1,00	106,71	108,36	110,02	111,66	113,32
1,20	129,11	130,76	132,42	134,06	135,72
1,50	162,71	164,36	166,02	167,66	169,32

Ghi chú: Hạt rắn rơi trong một thể tích nước lớn được gọi là rơi tự do. Sự rơi co hẹp là sự rơi đồng thời của "đám mây" các hạt. Độ thô thủy lực trong trường hợp này là vận tốc rơi đều của trọng tâm đám mây", vận tốc đó luôn luôn nhỏ hơn vận tốc rơi tự do của hạt. Theo chỉ dẫn của V. N. Gônsarôp, đối với bùn cát là đất không dính có trọng lượng riêng 2,65 g/cm^3 ở điều kiện nồng độ thể tích[1] f không quá 0,3, độ thô thủy lực của sự rơi co hẹp w_{ch} có thể xác định theo công thức:

a) Đối với chảy bao rối: $$\frac{w_{ch}}{w} = 1 - 1,42f \qquad (11\text{-}11)$$

b) Đối với chảy bao tầng: $$\frac{w_{ch}}{w} = 1 - 2,47f \qquad (11\text{-}12)$$

trong đó: w - độ thô thủy lực khi rơi tự do. Khi d > 1,5mm, việc tăng nồng độ sẽ làm giảm độ thô thủy lực.

[1] Nồng độ thể tích - tỉ số giữa thể tích của bùn cát chứa trong một đơn vị thể tích lưu lượng giây của dòng lơ lửng và lưu lượng của dòng chảy.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Khi bùn cát gồm các thành phần có độ thô không đồng nhất, chúng được đặc trưng bằng độ thô thủy lực trung bình

$$w_{tb} = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_{tbi} p_i}{P} \qquad (11\text{-}13)$$

trong đó:

w_{tbi} - độ thô thủy lực tính theo d_{tb}, đối với nhóm hạt thứ i;

$$d_{tb} = \frac{d_{i-1} + d_i}{2}$$

p_i - trọng lượng của nhóm hạt thứ i;

P - trọng lượng toàn mẫu.

Độ thô thủy lực cũng là tiêu chuẩn để chia bùn cát thành lơ lửng và đáy. Ta gọi hạt bị lơ lửng, nếu thành phần thẳng đứng trung bình của vận tốc lớn hơn độ thô thủy lực của hạt $\bar{v} > w$, và ngược lại khi $\bar{v} < w$ hạt sẽ chỉ di chuyển trên đáy.

11.2. CHUYỂN ĐỘNG CỦA BÙN CÁT ĐÁY VÀ BÙN LƠ LỬNG

Lưu lượng của bùn cát đáy ở vận tốc khởi động có thể xác định theo công thức V. N. Gônsarôp

$$q_d = 2{,}08\left(\frac{v}{v_k}\right)^3 \left(\frac{d}{H}\right)^{1/10} (v - v_k)d \qquad (11\text{-}14)$$

hoặc theo công thức của I. I. Lêvi khi $\frac{d}{H} > \frac{1}{300}$

$$q_d = 2\left(\frac{v}{\sqrt{gd}}\right)^3 \left(\frac{d}{H}\right)^{1/4} (v - v_k)d \qquad (11\text{-}15)$$

trong đó:

q_d - lưu lượng bùn cát đáy (kg/s) trên 1m chiều rộng dòng chảy;

v - vận tốc trung bình tính toán của dòng chảy;

v_k - vận tốc trung bình của dòng chảy ứng với vận tốc khởi động của hạt;

d - đường kính trung bình của hạt;

H - chiều sâu dòng chảy.

Lưu lượng bùn cát đáy trong thời gian lũ ở các sông miền núi, khi bùn cát gồm các thành phần có các nhóm hạt khác nhau với sự hình thành không rõ nét các cồn cát được xác định theo công thức của V. X. Knôrôđơ và A. Yu. Umarôp:

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$q_d = 0,125\gamma q i^{1/2}\left(0,40\frac{v^2}{\rho' gd} - 1\right) \quad (kg/s.m) \qquad (11\text{-}16)$$

trong đó: q_d - lưu lượng bùn cát đáy, kg/s trên 1m chiều rộng dòng chảy;

q - lưu lượng nước trên 1m rộng dòng chảy ($m^3/s.m$);

i - độ dốc mặt nước.

$\rho' = \frac{\rho_b - \rho}{\rho}$ (ρ, ρ_b - mật độ nước và bùn cát (kg/m^3);

γ - trọng lượng thể tích của nước (kg/m^3);

v - vận tốc trung bình của dòng chảy (m/s);

d - đường kính trung bình của hỗn hợp bùn cát di động (m).

Công thức V. F. Tudôp để xác định lưu lượng bùn cát đáy hạt nhỏ (loại Amudaria) của các sông:

$$G_d = k\gamma_b \frac{QH}{\left(\frac{v^2}{gH}\right)^{0,3} d} \qquad (11\text{-}17)$$

trong đó: G_d - lưu lượng bùn cát đáy (kg/s);

Q - lưu lượng nước (m^3/s);

H - chiều sâu trung bình của dòng chảy (m);

v - vận tốc trung bình của dòng chảy (m/s);

γ_b - trọng lượng thể tích của bùn cát đáy (kg/m^3);

$k = 2.10^{-5}$.

Lưu lượng của bùn cát lơ lửng. Lưu lượng thể tích của bùn cát dưới dạng các hạt đông đặc không có lỗ rỗng trên 1m rộng của dòng chảy được xác định theo công thức V. N. Gônsarôp

$$q_u = \frac{1+\varphi}{800} v_c \left(2\frac{v^3}{v_c^3} - 0,71\right)\left(\frac{v}{v_c} - 0,71\right) d \quad (m^3/s.m) \qquad (11\text{-}18)$$

trong đó:

v - vận tốc tính toán trung bình của dòng chảy (m/s);

d - đường kính trung bình lơ lửng của bùn cát (m);

φ - thông số rối của hành trạng bùn cát - tỉ số giữa vận tốc rơi tính toán của hạt xác định theo công thức (11-9) hoặc theo đường 3 trên hình 11.2 và độ thô thủy lực thực sự của nó ứng với kích thước của nó và nhiệt độ nước;

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

v_c - vận tốc khởi động xác định bằng công thức (11-27). Theo công thức giản đơn kém chính xác hơn nhưng đúng với điều kiện $v > v_c\sqrt{\frac{d_5}{d}}$ thì:

$$q_{lt} = 0,85(1+\varphi)v_c\left(1,41\frac{v}{v_c}\right)^{4,33} d \quad (kg/s.m) \qquad (11.19)$$

Các công thức (11-18) và (11-19) cho ta các đại lượng trung bình thống kê của lưu lượng bùn cát, mà khi q_{lt} nhỏ và có các sóng cát (trạng thái cồn cát - đáy) thì sự khác nhau giữa chúng sẽ đạt đến giá trị lớn nhất.

Công thức G. V. Lôpachin để xác định sơ bộ lượng bùn cát lơ lửng (độ đục) trong sông

$$\rho_{tb} = \frac{4\sqrt{hi}}{n^2 w} \qquad (11\text{-}19')$$

trong đó: ρ_{tb} - độ đục trung bình của dòng chảy (g/m^3);

h - chiều sâu trung bình của dòng chảy (m);

i - độ dốc dọc của dòng chảy;

n - hệ số nhám lòng dẫn;

w - độ thô thủy lực trung bình của bùn cát lơ lửng.

Độ đục lớn nhất trong các điều kiện thủy lực đang xét là sức tải của dòng chảy. Để xác định sức tải ρ_T người ta sử dụng rộng rãi công thức (11-48) khi biết v_{kl}. Đối với $0,0004 \le w \le 0,0002$ m/s, ta dùng công thức A. N. Gôxtunxki:

$$\rho_T = 3300\frac{h^{0,5}i^{1,5}}{w} \qquad (11\text{-}20)$$

trong đó: h - chiều sâu trung bình (m);

i - độ dốc mặt thoáng;

w - độ thô thủy lực trung bình của bùn cát (m/s).

Đối với sông và các kênh tưới lớn, công thức vạn năng hơn cả là công thức của A. G. Hatsatrian viết cho các bể lắng ở Trung Á:

$$\rho_T = 200u_{ll}\left(\ln\frac{u_{ll}}{w_l} - \frac{u_{ll}-w_l}{u_{ll}}\right) \qquad (11\text{-}21)$$

trong đó: u_{ll} - vận tốc lơ lửng lớn nhất

$$u_{ll} = 0,065\frac{\sqrt{vn}(v-0,05)}{R^{1/2}}$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

trong đó:

n - hệ số nhám;

R - bán kính thủy lực;

v - vận tốc trung bình của dòng chảy;

w_1 - độ thô thủy lực nhỏ nhất của tổ hợp bùn cát đang xét được xác định theo công thức:

$$\left(\ln w_1 - \frac{w_1}{w_{n+1}}\right)(1-\rho_1) = \ln w_2 - \frac{w_2}{w_{n+1}} - \rho_1(\ln w_{n+1} - 1) \qquad (11\text{-}22)$$

trong đó:

w_2 - giá trị lớn nhất của độ thô thủy lực của nhóm hạt bùn cát thứ nhất (bé);

ρ_1 - (bé hơn một) số lượng trong nhóm hạt bé thứ nhất;

w_{n+1} - độ thô thủy lực lớn nhất của căc hạt của tổ hợp bùn cát đang xét (lấy $w_{n+1} = u_{II}$).

Công thức của Kh. S. Sapirô để tính toán sức tải của dòng chảy khi tổ hợp bùn cát gồm bốn nhóm cỡ hạt (dùng cho kênh - bể lắng của kênh Karacum và hồ chứa Tetjenxki). Sức tải toàn phần là tổng số sức tải của các nhóm hạt riêng biệt

$$\rho_T = \sum_{i=1}^{i=n} \rho_{Ti} \qquad (11\text{-}21')$$

$$\rho_T = C_{Ti}\left(\frac{w_{i+1}}{w_i} - \frac{w_{i+1} - w_i}{u_{II}}\right) \qquad (11\text{-}22')$$

trong đó:

v - vận tốc trung bình của dòng chảy;

$u_{II} = 0{,}3\sqrt{Rgi}$;

w_i, w_{i+1} - độ thô thủy lực của nhóm hạt thứ i và i + 1;

C_{Ti} - hằng số của đường cong phân bố theo độ thô của dòng lơ lửng của nhóm hạt thứ i:

$$C_{Ti} = k_i v^{0,7}.u_{II}$$

trong đó: $k_i = f(d)$

k_i	12	59	94	85
d (mm)	> 0,10	0,1 - 0,05	0,05 - 0,01	< 0,01

Các kết quả tính toán theo công thức của Sapirô thực tế trùng với các kết quả tính toán theo công thức của Hatsatrian. Sự so sánh độ đục của dòng chảy với sức tải [chẳng hạn được xác định theo các công thức (11-19') và (11-21) hoặc

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

(11-21')] cho ta khả năng dự đoán có xảy ra hiện tượng xói hoặc lắng đọng đáy lòng dẫn hay không.

Phân bố bùn cát theo chiều sâu dòng chảy: Các công thức trong lí thuyết khuếch tán (11-23) và (11-24) chỉ sử dụng được khi dòng chảy chứa không quá 5% (tính theo thể tích) hạt rắn, với kích thước hạt bé hơn 1mm. Đối với các dòng chảy tải cát khác, các công thức này không dùng được.

Công thức của I. I. Lêvi:

$$\frac{nw}{1-n}\left[1-\left(\frac{y}{H-l}\right)^{n-1}\right]\frac{u_m}{gi(H-l')} \qquad (11\text{-}23)$$

$$\rho = \rho_d e$$

trong đó:

u_m - vận tốc mặt;

l' - chiều cao mố nhám;

n - chỉ số mũ vận tốc, n = 1/6 ÷ 1/8;

ρ_d - độ đục ở đáy;

ρ - độ đục tại khoảng cách y tính từ đáy;

H - chiều sâu dòng chảy.

Công thức của M. A. Vêlicanôp:

$$s = s_o\left(\frac{1-\eta}{1+\frac{H}{\alpha}}\right)^{\frac{w}{\kappa\sqrt{gHi}}} \qquad (11\text{-}24)$$

trong đó:

η - tọa độ tương đối, $\eta = y/H$;

$\alpha = l'/H$ - độ nhám tương đối;

κ - thông số Cacman, đối với nước $\kappa \approx 0{,}4$;

w - độ thô thủy lực;

s_o - độ đục ở đáy;

$\frac{w}{\kappa\sqrt{gHi}}$ - tiêu chuẩn không thứ nguyên trong lí thuyết khuếch tán.

Công thức của M. A. Vêlicanôp xây dựng trên cơ sở lí thuyết trọng lực của hiện tượng lơ lửng:

$$s = \frac{1-\frac{\alpha\sigma}{\beta}}{2} - \sqrt{\frac{\left(1-\frac{\alpha\sigma}{\beta}\right)^2}{4} - \frac{\sigma}{\beta}} \qquad (11\text{-}25)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

trong đó:

β - thông số cơ bản của lí thuyết trọng lực, đối với cát thạch anh $\beta = 0,21\frac{w}{i\sqrt{gHi}}$;

$\alpha = 1,65$; $\sigma = 0,204$;

$s_{max} = 0,38$; $\beta_{min} = 1,41$.

Đối với bùn cát không trọng lượng ($\rho_b = \rho$) $s_{max} = 0,5$; $\beta_{min} = 0,82$.

Công thức thực nghiệm của S. M. Anxufêrôp:

$$\frac{S}{S_c} = \exp\left[\sqrt{w}\left(\frac{z}{H} - \frac{C}{H}\right)\right] \qquad (11\text{-}24')$$

trong đó: $C = 0,5H$; H - chiều sâu dòng chảy;

z - tọa độ thẳng đứng tính từ mặt nước đến đáy của điểm có nồng độ S;

S_c - nồng độ tại vị trí một nửa chiều sâu;

w - độ thô thủy lực.

Công thức (11-24') vẫn nằm trong khuôn khổ của lí thuyết khuếch tán nên cũng có cùng một phạm vi ứng dụng như các công thức (11-23) và (11-24).

11.3. VẬN TỐC CHO PHÉP CỦA DÒNG CHẢY TRONG KÊNH THEO CÁC ĐIỀU KIỆN KHÔNG XÓI

Vận tốc trung bình trên mặt cắt v ứng với vận tốc khởi động đang xét của hạt riêng biệt, có thể xác định gần đúng bằng quan hệ thực nghiệm của M. A. Vêlicanôp và N. M. Bôscôp

$$\frac{v^2}{gd} = 15 + \frac{6}{d} \qquad (11\text{-}26)$$

trong đó: d - đường kính hạt (mm).

Giá trị của vận tốc khởi động v_k, tức là vận tốc trung bình bé nhất của dòng chảy để hiện tượng bắt đầu tách các hạt đơn độc của đất không dính trên đáy xảy ra được liên tục, được xác định theo công thức của V. N. Gônsarôp:

- Khi tổ hợp hạt rắn là đồng nhất:

$$v_k = \lg\frac{8,8H}{d}\sqrt{\frac{2g(\gamma_1 - \gamma)d}{1,75\gamma}} \qquad (11\text{-}27)$$

- Khi tổ hợp của đất tại đáy lòng dẫn không đồng nhất

$$v_k = \frac{2g(\gamma_1 - \gamma)d_{th}}{1,75\gamma} \cdot \lg\frac{8,8H}{d_5} \qquad (11\text{-}28)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

trong đó:

d_5 - đường kính của các hạt lớn nhất chiếm 5% toàn bộ trọng lượng bùn cát;

d_{tb} - đường kính trung bình của hỗn hợp bùn cát;

γ_1 và γ - trọng lượng thể tích của bùn cát và nước;

H - chiều sâu dòng chảy.

V. N. Gônsarôp tìm ra quan hệ sau đây giữa vận tốc khởi động và độ thô thủy lực

$$\frac{w}{v_k} = \frac{1}{\varphi \lg \frac{8,8H}{d_5}} \qquad (11\text{-}29)$$

trong đó: φ - thông số rối là tỉ số giữa vận tốc rơi tính toán của hạt trong chảy bao rối tính theo công thức (11-9) và độ thô thủy lực thực tế của nó ứng với kích thước của nó và nhiệt độ của nước.

Đối với cuội và sỏi, vận tốc không xói[1] cho phép được xác định theo công thức của E. A. Damarin:

$$v = aR^{1/\gamma} \qquad (11\text{-}30)$$

trong đó: R - bán kính thủy lực;

a - thông số phụ thuộc vào kích thước hạt cứng d, như đối với sỏi khi $R = 0,5 \div 2m$ và $\gamma = 2 + R$ thì:

d (cm)	dưới 0,5	dưới 1,0	dưới 1,5
a	0,95	1,05	1,15

Đối với cuội khi $R = 0,5 \div 1,5m$ và $\gamma = 2,5 + 0,5R$ thì:

d (cm)	dưới 5	5 ÷ 10	10 ÷ 12
a	1,4	1,75	2,0

Trong "TYuH về thiết kế các công trình thủy lợi" 108-59 của Bộ Xây dựng các trạm thủy điện đã đề nghị các quan hệ sau đây để tính toán vận tốc không xói cho phép.

a) Đối với đất không dính hoặc khi lòng dẫn được phủ một lớp đá đổ, lớp sỏi hoặc một lớp bảo vệ bằng cát - sỏi với đường kính hạt trung bình của đất (lớp áo) $d_{tb} > 1,5mm$, vận tốc cho phép giới hạn được tính theo công thức I. I. Lêvi:

---

[1] Vận tốc không xói là vận tốc cho phép lớn nhất đối với đất đang xét của lòng dẫn theo các điều kiện xói.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Khi $\frac{R}{d_K} > 50$: $$v = 1,3\sqrt{g d_{tb}}\,\lg\frac{12R}{d_k} \qquad (11\text{-}31)$$

Khi $10 < \frac{R}{d_K} < 50$ $$v = 1,3\sqrt{g d_{tb}}\left(1 + \frac{2}{3}\lg\frac{10R}{d_k}\right) \qquad (11\text{-}32)$$

trong đó: d_{tb} - đường kính trung bình của hạt;

d_k - đường kính lớn nhất của các hạt chiếm 90% toàn bộ các hạt đất.

R - bán kính thủy lực.

Khi đất đồng nhất và đường kính hạt trung bình $d_{tb} < 0,25$mm, V. C. Knôrôt đề nghị công thức:

$$v = \frac{100 d_{tb}^{0,05} R^{0,125}}{\sqrt{7,5 + R^{0,25}}} \quad (cm/s) \qquad (11\text{-}33)$$

khi $0,25 < d_{tb} < 1,5$mm: $$v = 32 d_{tb}^{0,25}\left(\lg\frac{7,5H}{d_{tb}} - 5,5 d_{tb}\right) \quad (cm/s) \qquad (11\text{-}34)$$

trong đó: d_{tb} và R - tính bằng cm.

Khi lớp bảo vệ được hình thành bằng các hạt lớn, $v_{bv} = 0,75v$ với điều kiện là các hạt sỏi tăng lên 10%.

b) Đối với đất dính, các giá trị của vận tốc cho phép khi R = 1 ÷ 2m ghi trong bảng 11.3.

Khi R > 2m nên tăng v lên $(R/2)^{0,125}$ lần.

Bảng 11.3. Vận tốc không xói cho phép đối với đất dính theo TYuH về thiết kế các công trình thủy lợi của Bộ Xây dựng các trạm thủy điện 108-59

Tên đất	v (m/s)
Á cát yếu	0,7 ÷ 0,8
Á cát chặt	1,0
Á sét nhẹ (và dạng hoàng thổ)	0,7 ÷ 0,8
Á sét trung bình	1,0
Á sét chặt	1,1 ÷ 1,2
Sét mềm	0,7
Sét bình thường	1,2 ÷ 1,4
Sét chặt	1,5 ÷ 1,8
Đất bùn	0,5

c) Đá lát đường. Vận tốc không lớn hơn 2 m/s là thuộc vận tốc không xói.

Nhược điểm chung của tất cả các công thức kể trên là hiện tượng xói chỉ được đặc trưng bằng các kích thước của hạt và chiều sâu dòng chảy, mặc dù các mạch

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

động vận tốc, sự khác nhau của các hình dạng và trọng lượng riêng của bùn cát, sự thay đổi trạng thái chảy rối ở lớp đáy, sự xuất hiện lực dính khi d giảm v.v... đều có ảnh hưởng không ít đến xói. Đối với đất đồng nhất và không dính, T. E. Mirxkhulava đã đưa ra quan hệ tính toán có xét đến nhiều yếu tố kể trên. Vì vậy các công thức dưới đây sẽ cho các giá trị vận tốc không xói trung bình v trên mặt cắt và vận tốc đáy v_d đáng tin cậy nhất.

$$v = \lg\left(\frac{8,8H}{d}\right)\sqrt{\frac{2gm}{0,44\gamma_o n}\left[(\gamma_1 - \gamma_o)d + 2C_d^T k\right]} \qquad (11\text{-}35)$$

$$v_d = 1,25\sqrt{\frac{2gm}{0,44\gamma_o n}\left[(\gamma_1 - \gamma_o)d + 2C_d^T.k\right]} \qquad (11\text{-}36)$$

trong đó:

m - hệ số đặc trưng cho các điều kiện chảy lấy theo bảng 11.4;

γ_1 và γ_o - trọng lượng riêng của đất và nước;

H - chiều sâu dòng chảy;

g - gia tốc rơi tự do;

d - đường kính hạt (m);

C_d^T - độ bền mỏi tiêu chuẩn chống vỡ của đất không dính dưới tác dụng của tải trọng động, $C_d^T = 0,035c$;

n - hệ số quá tải, phụ thuộc vào tỉ số giữa vận tốc mạch động tức thời cực đại ở gần đáy và vận tốc trung bình cũng tại điểm đó (tức là phụ thuộc cường độ rối):

$$n = \left(\frac{v_{max}}{v_d}\right)^2 \qquad (11\text{-}37)$$

gần đúng

$$n = 1 + \frac{d}{0,00005 + 0,3d} \qquad (11\text{-}38)$$

k - hệ số đồng nhất phụ thuộc vào sự xuất hiện lực dính trong đất hạt nhỏ, được xác định trên cơ sở chỉnh lí thống kê các số liệu thí nghiệm

$$k = 1 - \frac{\alpha\sigma}{c} \qquad (11\text{-}39)$$

trong đó: σ - độ lệch quân phương so với c - lực dính trung bình của đất;

α - đối với kênh cấp I bằng 2,65; cấp II bằng 2,5; cấp III bằng 2,0.

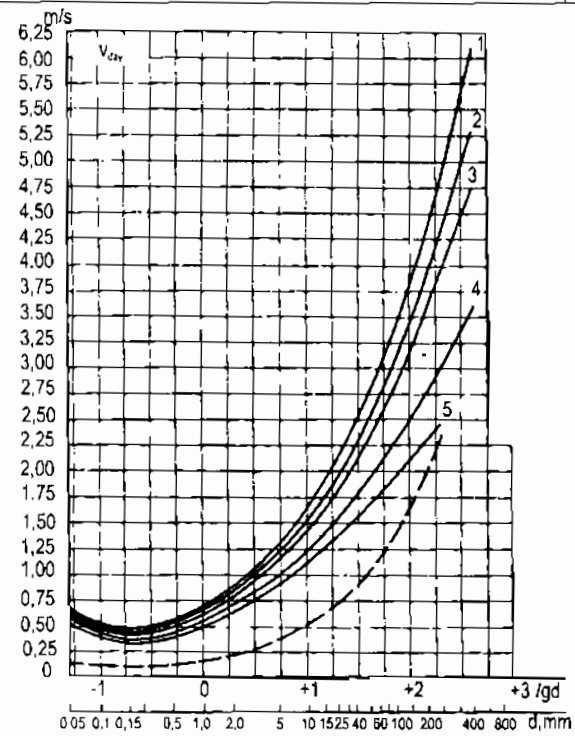
Để xác định vận tốc không xói có xét đến chiều sâu, Mirxkhulava đưa ra đồ thị trình bày trên hình 11.3.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 11.4. Các giá trị m trong công thức (11-35) và (11-36) do T. E. Mirxkhulava đề nghị

Đặc trưng lòng dẫn		Cấp kênh[1]		
		I	II	III
Kênh có chứa				
bùn cát ở trạng thái keo (trên 0,1 kg/m^3)		1,30	1,40	1,60
bùn cát đáy phong hóa		0,75	0,80	0,85
Kênh, trên đáy có lớp phủ thực vật		1,10	1,15	1,20
Kênh làm việc gián đoạn:				
trong các vùng có khí hậu khô		0,20	0,22	0,25
trong các vùng có khí hậu ẩm		0,60	0,70	0,80
Các kênh có độ cong:	kênh thẳng	1,00	1,00	1,00
	kênh cong ít (lượn ít)	0,90	0,95	0,95
	cong vừa	0,75	0,85	0,90
	cong nhiều	0,60	0,65	0,70



——— vận tốc trung bình

– – – – vận tốc đáy

1. Khi H = 10m;
2. Khi H = 5m;
3. Khi H = 3m;
4. Khi H = 1m;
5. Khi H = 0,5m

***Hình 11.3**: Quan hệ của vận tốc trung bình cho phép (không xói) và vận tốc đáy với đường kính hạt và chiều sâu dòng chảy*

[1] Khi xác định vận tốc cho phép (không xói) của kênh, tùy thuộc vào mục đích sử dụng có thể chia ra các loại sau đây: I - kênh chính; II - kênh phân phối giữa các nông trường; III - kênh phân phối của nông trường.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Đối với đất dính Mirxkhulava thu được các quan hệ sau đây cho vận tốc đáy

$$v_{cpd} = 1,25\sqrt{\frac{2gm}{2,6\gamma_o n}\left[(\gamma_1 - \gamma_o)d + 1,25C_d^T k\right]} \qquad (11\text{-}40)$$

và vận tốc không xói trung bình:

$$v_{cptb} = \lg\left(\frac{8,8H}{d}\right) \times \sqrt{\frac{2gm}{2,6\gamma_o n}\left[(\gamma_1 - \gamma_o)d + 1,25C_d^T k\right]} \qquad (11\text{-}41)$$

trong đó:

C_d^T - độ bền mòi chống vỡ của đất dính dưới tải trọng động;

Các kí hiệu khác trong (11-40) và (11-41) cũng như đối với (11-35) và (11-36).

Hệ số đồng nhất k đối với đất dính, được xác định bằng cách chỉnh lí thống kê các kết quả thử mẫu có cấu tượng không bị phá hoại có giá trị hơi lớn nếu kênh được đào bằng phương pháp nổ hoặc máy đào hoặc nếu kênh được đào trong đất có khe nứt. Đất sét có khe nứt nên xem là đất không dính mà kích thước hạt của nó bằng kích thước trung bình của các phân tử được tạo nên bởi các khe nứt. Đối với sét $d_{pht} = 3 \div 5mm$.

Đất hoàng thổ cần phải ngâm trong nước hai tháng trước khi tiến hành xác định các đặc tính của nó.

Để tính toán sơ bộ và đối với kênh cấp III, cho phép lấy c và γ theo bảng 11.5.

Thí dụ[1]: Xác định vận tốc cho phép (không xói) của dòng chảy. Các số liệu ban đầu: chiều sâu dòng chảy H = 1m; dòng không có bùn cát đáy và bùn cát chứa keo; kênh cấp II làm việc thường xuyên; trọng lượng riêng của vật liệu hạt đất $\gamma_1 = 2,65\ T/m^3$; các mẫu không bị phá hoại được chọn trong tuyến kênh. Lòng kênh được hình thành từ á sét nặng, độ nén trung bình, có cấu tạo đồng nhất trên toàn mặt cắt kênh. Đất được đặc trưng bằng độ ẩm ở giới hạn dẻo w = 15% và hệ số rỗng 0,68. Lực dính của đất xác định theo phương pháp ép bằng khuôn cầu (dụng cụ của N. A. Txutôvich, đường kính khuôn ép 1,2cm) với trọng tải trên khuôn P = 1,2kG.

Đối với từng chiều sâu ép, có thể tính được lực dính. Muốn thế phải xác định sơ bộ góc ma sát $\varphi = 20^{o}$[2]:

---

[1] Lấy từ sách "Xói lòng dẫn và phương pháp đánh giá độ ổn định của chúng" của T. E. Mirxkhulava, "Bông lúa", 1967.

[2] Khi không có các số liệu nghiên cứu đặc biệt về giá trị của góc ma sát φ, có thể lấy gần đúng như bảng 11.5 theo độ ẩm giới hạn dẻo và hệ số rỗng.

https://tieulun.hopto.org

Bảng 11.5. Giá trị lực dính c (kG/cm^2) và góc ma sát φ (độ) để tính toán sơ bộ cho kênh cấp II khi xác định vận tốc không xói

Độ ẩm ở giới hạn lăn (%)	Chỉ tiêu	φ và c tùy thuộc hệ số rỗng											
		0,41 - 0,50		0,51 - 0,60		0,61 - 0,70		0,71 - 0,80		0,81 - 0,95		0,96 - 1,10	
		Tiêu chuẩn	Tính toán	Tiêu chuẩn	Tính toán	Tiêu chuẩn	Tính toán	Tiêu chuẩn	Tính toán	Tiêu chuẩn	Tính toán	Tiêu chuẩn	Tính toán
> 0,94	c	0,10	0,2	0,07	0,01	0,05	0,01						
	φ	30	28	28	26	27	25						
9,5 - 12,4	c	0,12	0,03	0,08	0,01	0,06	0,01						
	φ	25	23	24	22	23	21						
12,5 - 15,4	c	0,42	0,14	0,21	0,07	0,14	0,04	0,07	0,02				
	φ	24	22	23	21	22	20	21	19				
15,5 - 18,4	c			0,50	0,19	0,25	0,11	0,19	0,08	0,11	0,04	0,08	0,02
	φ			22	20	21	19	20	18	19	17	18	16
18,5 - 22,4	c					0,68	0,28	0,34	0,19	0,28	0,10	0,19	0,06
	φ					20	18	19	17	18	16	17	15
22,5 - 26,4	c							0,82	0,36	0,41	0,25	0,36	0,12
	φ							18	16	17	15	16	14
26,5 - 30,4	c									0,94	0,40	0,47	0,22
	φ									16	14	15	13

Ghi chú:

1. Đối với đất đang xét, giá trị trung bình tính từ số liệu của 25 lần thí nghiệm (không được ít hơn) để làm đặc trưng tiêu chuẩn. Đặc trưng tính toán là tích giữa đặc trưng tiêu chuẩn và hệ số đồng nhất k.

2. Hệ số rỗng của đất gọi là tỉ số giữa thể tích lỗ rỗng và thể tích phần khoáng của đất.

www.thuvien247.net

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$c_1 = 0,18\frac{MP}{\pi D_k h}$$

trong đó: M - hệ số xét đến ảnh hưởng của ma sát (cho trong bảng 11.6); M = 0,285;
P - tải trọng trên khuôn;
D_k - đường kính khuôn;
h - chiều sâu ép.

$$c_1 = 0,18.0,285\frac{1,2}{3,14.1,2.0,137} = 0,12 \text{ kG/cm}^3;$$

$$c_2 = 0,18.0,285\frac{1,2}{3,14.1,2.0,099} = 0,17 \text{ kG/cm}^3;$$

$$c_3 = 0,18.0,285\frac{1,2}{3,14.1,2.0,120} = 0,14 \text{ kG/cm}^3;$$

Bảng 11.6. Hệ số M để xét lực dính do ảnh hưởng của ma sát (theo số liệu của V. G. Berêzênxep)

φ (độ)	0	10	20	30
M	1	0,615	0,285	0,122

Bằng các giá trị đã tính về lực dính, ta lập dãy biến phân. Kết quả chỉnh lí dãy biến phân đó cho ta các số liệu cần thiết.

1- Lực dính trung bình số học

$$c = \frac{\Sigma c_i m_i}{\Sigma m_i} = \frac{4,61}{30} = 0,15 \text{ kG/cm}^2 \text{ (1,5 T/m}^2\text{)}$$

trong đó: c_i - lực dính; m_i - tần số.

2- Độ lệch quân phương (tiêu chuẩn)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma m_i (c_i - c)^2}{\Sigma m_i}} = \sqrt{\frac{0,0235}{30}} = 0,0280 \text{ kG/cm}^2$$

3- Hệ số đồng nhất được xác định theo công thức (11-39). Kênh cấp II, nên α lấy bằng 2,5:

$$k = 1 - \frac{2,5.0,0280}{0,15} = 0,53$$

4- Độ bền mỏi tiêu chuẩn chống vỡ

$$C_d^T = 0,035.c = 0,035.0,15 = 0,053 \text{ kG/cm}^2$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

hoặc: $$C_d^T = 0,053\ T/m^2$$

5- Đường kính trung bình của hình cầu có thể tích bằng phần bị tách khỏi đất d = 4mm (0,004m). Hệ số điều kiện làm việc theo nhiệm vụ m = 1. Do không có nguyên nhân gây nên sự gia tăng độ rối, ta lấy hệ số quá tải n = 4.

Thay các trị số tìm được vào công thức (11-40) ta có đại lượng vận tốc đáy cho phép (không xói) ở chiều cao đỉnh nhám:

$$v_{cp} = 1,25\sqrt{\frac{2.9,81}{2,6.1,4}\left[(2,65-1)0,00+1,25.0,053.0,53\right]} = 0,36\ m/s$$

Vận tốc trung bình cho phép (không xói) xác định theo công thức (11-41):

$$v_{cp} = \left(\lg\frac{8,8.1,0}{0,004}\right)\times\sqrt{\frac{2,9.81,1}{2,6.1,4}(2,65-1)0,004+1,25.0,053.0,53} = 0,73\ m/s$$

Khi không có số liệu đo ép bằng khuôn hình cầu, có thể dùng bảng 11.5.

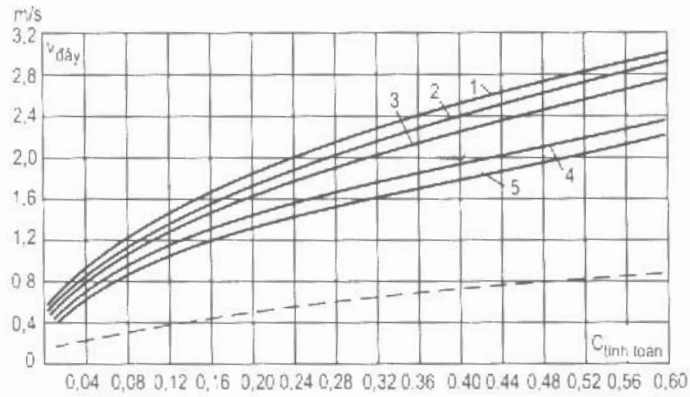
Đối với loại đất đang xét, theo bảng 11.5 giá trị tính toán lực dính c_{tt} = 0,04 kG/cm^2. Đại lượng c_{tt} đó tương ứng với vận tốc trung bình cho phép (không xói):

$$v_{cp} = 0,71\ m/s$$

còn vận tốc đáy cho phép (không xói):

$$v_{cp} = 0,27\ m/s$$

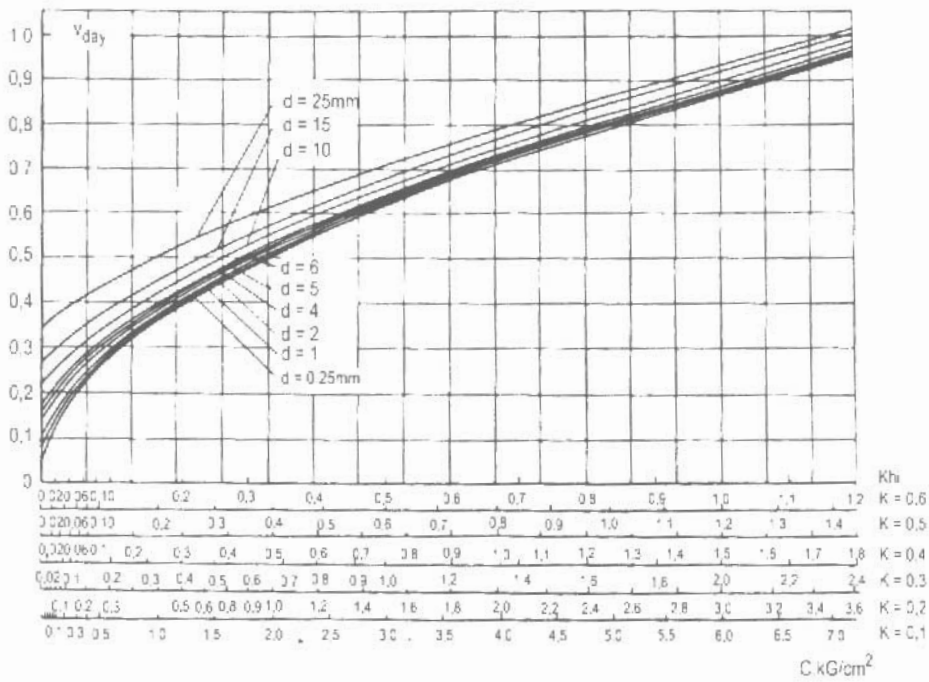
Khi xác định vận tốc không xói của đất dính có thể dùng các đồ thị của T. E. Mirxkhulava (hình 11.4 - 11.6) được vẽ theo các công thức (11-40) - (11-41).



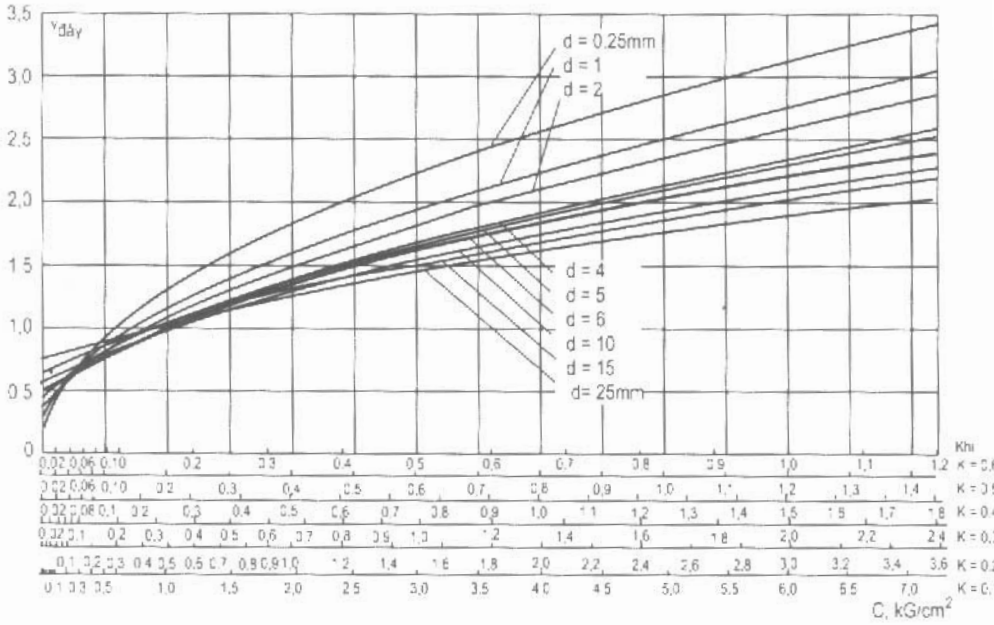
Hình 11.4: *Quan hệ giữa vận tốc trung bình cho phép (không xói) và vận tốc đáy với lực dính tính toán (lực dính tính toán bằng C_{tt} = kc). Có thể xem gần đúng k = 0,5. Các kí hiệu xem trên hình 11.3.*

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 11.5: Quan hệ giữa vận tốc đáy (không xói) cho phép của dòng nước (H = 1m) và lực dính, kích thước hạt, hệ số đồng nhất



Hình 11.6: Quan hệ giữa vận tốc đáy cho phép (không xói) của dòng nước và lực dính, kích thước hạt, hệ số đồng nhất

https://tieulun.hopto.org

Theo TYuH của Tổng cục Xây dựng thủy năng (CT-24-2396), khi thiết kế, trừ các công trình đặc biệt quan trọng, trong tất cả các trường hợp đều có thể lấy vận tốc trung bình không xói theo các bảng 11.7, 11.8, 11.9, 11.10.

Bảng 11.7. Các vận tốc trung bình cho phép v_{cp} (m/s) đối với đất không dính theo TYuH của Tổng cục Xây dựng thủy năng (Cm 24-2396)

Tên các loại đất không dính đồng nhất	Kích thước các hạt đất (mm)	v_d ứng với chiều sâu trung bình của dòng chảy h_{tb} (m)			
		$h_{tb} = 0,4$	$h_{tb} = 1,0$	$h_{tb} = 2,0$	$h_{tb} \geq 3$
Bụi và bùn	0,005 - 0,05	0,12 - 0,17	0,15 - 0,21	0,17 - 0,24	0,19 - 0,26
Cát nhỏ	0,05 - 0,25	0,17 - 0,27	0,21 - 0,32	0,24 - 0,37	0,26 - 0,40
Cát vừa	0,25 - 1,0	0,27 - 0,47	0,32 - 0,57	0,37 - 0,65	0,40 - 0,70
Cát lớn	1,0 - 1,50	0,47 - 0,53	0,57 - 0,65	0,65 - 0,75	0,70 - 0,80
Sỏi nhỏ	2,5 - 5,0	0,53 - 0,65	0,65 - 0,80	0,75 - 0,90	0,80 - 0,95
Sỏi vừa	5 - 10	0,65 - 0,80	0,80 - 1,0	0,90 - 1,1	0,95 - 1,2
Sỏi lớn	10 - 15	0,80 - 0,95	1,0 - 1,2	1,1 - 1,3	1,2 - 1,4
Cuội nhỏ	15 - 25	0,95 - 1,2	1,2 - 1,4	1,3 - 1,6	1,4 - 1,8
Cuội vừa	25 - 40	1,2 - 1,5	1,4 - 1,8	1,6 - 2,1	1,8 - 2,2
Cuội lớn	40 - 75	1,5 - 2,0	1,8 - 2,4	2,1 - 2,8	2,2 - 3,0
Đá cuội nhỏ	75 - 100	2,0 - 2,3	2,4 - 2,8	2,8 - 3,2	3,0 - 3,4
Đá cuội vừa	100 - 150	2,3 - 2,8	2,8 - 3,4	3,2 - 3,9	3,4 - 4,2
Đá cuội lớn	150 - 200	2,8 - 3,2	3,4 - 3,9	3,9 - 4,5	4,2 - 4,9
Đá tảng	> 200	> 3,2	> 3,9	> 4,5	> 4,9

www.thuvien247.net

https://tieulun.hopto.org

Bảng 11.8. Các vận tốc trung bình cho phép v_{cp} (m/s) đối với đá theo TYuH của Tổng cục Xây dựng thủy năng (Cm 24-2396)

Tên các loại đá	v_{cp} ứng với chiều sâu trung bình của dòng chảy h_{tb} (m)							
	0,4	1,0	2,0	3,0 và lớn hơn	0.4	0,1	2,0	3.0 và lớn hơn
	Mặt đá thô				Mặt đá nhẵn			
A. Đá trầm tích								
Cuội kết, mácnơ, sét phiến và phiến	2,1	2,5	2,9	3,1	–	–	–	–
Đá vôi, rỗng, cuội kết chặt, đá vôi lớp, cát kết vôi, đá vôi đôlômit	2,5	3,0	3,4	3,7	4,2	5,0	5,7	6,2
Cát kết đôlômit, đá vôi lớp không chặt, đá vôi silic	3,7	4,5	5,2	5,6	5,8	7,0	8,0	8,7
B. Đá kết tinh								
Cẩm thạch, đá hoa cương, xienit gabia	16	20	23	25	25	25	25	25
Ban tinh, hưởng nham, endêzit, diabi, bazan, quắczit	21	25	25	25	25	25	25	25

Ghi chú: Các số liệu tương ứng với loại đá không nứt nẻ và có bề mặt còn mới, không bị phong hóa. Nếu đá nứt nẻ và bị phong hóa, thì các đại lượng về vận tốc cho phép phải giảm đi, tùy thuộc vào độ nứt nẻ và phong hóa. Đối với đá bị phong hóa nhiều, vận tốc cho phép được xác định như đối với đất không dính, theo kích thước các hòn tách ra được và có xét đến trọng lượng thể tích của các loại đá đó.

www.thuvien247.net
https://tieulun.hopto.org

Bảng 11.9. Các vận tốc trung bình cho phép v_{cp} (μ/S) khi lát bêtông, bêtông cốt thép và gỗ theo TYuH của Tổng cục Xây dựng thủy năng (Cm 24-2396)

Hình thức lát và vật liệu	v_{cp} ứng với chiều sâu trung bình của dòng chảy h_{tb} (m)											
	0,4	1,0	2,0	3,0 và lớn hơn	0,4	1,0	2,0	3,0 và lớn hơn	0,4	1,0	2,0	3,0 và lớn hơn
	Lớp áo và gia cố				Các công trình và kết cấu							
					Trong các điều kiện bình thường				Trong các điều kiện khó sửa chữa			
A. Lát bằng vữa ximăng												
Gạch lát có sức kháng tạm thời chống co ngót trong nước 10 - 30 kG/cm^2	1,6	2,0	2,3	2,5	2,9	3,5	2,0	4,4	1,4	1,7	2,0	2,2
Lát đá yếu và lát gạch chắc	2,9	3,5	4,0	4,4	5,0	6,0	6,9	7,5	2,5	3,0	3,4	3,7
Lát gạch chịu lửa có sức kháng tạm thời chống co ngót 120 kG/cm^2	4,6	5,5	6,3	6,9	7,9	9,5	11	12	3,9	4,7	5,4	5,9
Lát đá trung bình	5,8	7,0	8,1	10	12	12	14	15	5,0	6,0	6,9	7,5
Lát clanhke có sức kháng tạm thời chống co ngót 250 - 300 kG/cm^2	7,1	8,5	9,8	11	12	14	16	18	6,0	7,2	8,3	9,0
B. Bêtông và bêtông cốt thép có lớp trát ximăng hoặc phun vữa, thi công kĩ												
Bêtông mác 210 (sức kháng tạm thời chống co ngót qua 30 ngày tính bằng kG/cm^2)	7,5	9,0	10,0	11	25	25	25	25	15	18	21	23
Bêtông mác:	6,6	8,0	9,2	10	25	25	25	25	13	16	19	20
170	5,8	7,0	8,1	8,7	24	25	25	25	12	14	16	18
140	5,0	6,0	6,9	7,5	20	25	25	25	10	12	13	15
110	4,2	5,0	5,7	6,2	16	23	23	25	8	10	11	12
90	–	–	–	–	25	25	25	25	12	15	17	18

www.thuvien247.net

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 11.10. Vận tốc trung bình cho phép v_{cp} (m/s) đối với lớp áo và gia cố kênh theo TYuH của Tổng cục xây dựng thủy năng (Cm 24-2396)

Loại gia cố	v_{cp} ứng với chiều sâu trung bình của dòng chảy h_{tb}, (m)			
	0,4	1,0	2,0	3,0
Đá đổ tùy theo độ lớn của đá	Theo bảng 11-7			
Đá đổ trong rọ, tùy theo độ lớn của đá	Theo bảng 11-7 tăng lên 10%			
Đá lát đơn có kích thước của từng viên (cm)				
15	2,5	3,0	3,5	3,8
20	2,9	3,5	4,0	4,3
Đá lát kép bằng các hòn vuông có mặt lồi và phẳng, với kích thước các hòn đá (cm) bằng				
15	3,1	3,7	4,3	4,6
20	3,6	4,3	5,0	5,4
Rọ đá	dưới 4,2	dưới 5,0	dưới 5,7	dưới 6,2
Gia cố bằng bó cây	1,8	2,2	2,5	2,7
Trồng cỏ tươi phẳng	0,6	0,8	0,9	1,0
Vồng cỏ tươi trên tường	1,5	1,8	2,0	2,2

11.4. CÁC QUAN HỆ TÍNH TOÁN VẬN TỐC PHÂN GIỚI KHÔNG LẮNG TRONG KÊNH

Công thức của N. E. Jucôpxki về vận tốc không lắng được xây dựng trên cơ sở không xét đến độ rối của dòng chảy, đối với đất cát

$$v_{kl} = 0,24 + 0,29H \quad \text{(m/s)} \qquad (11\text{-}42)$$

Công thức Kennơđi (năm 1895):

$$v_{kl} = cH^{\alpha} \qquad (11\text{-}43)$$

Đại lượng	Kênh ở Ấn Độ	Đất hạt nhỏ ở Ai Cập	Cát hạt to	Các lớp cát - á sét	Các mảnh cứng
c	0,84	0,56	0,92	1,01	1,09
α	0,64	–	–	–	–

Đối với nước trong $\alpha = 5$.

Công thức (11-43) trong một thời gian dài đã là cơ sở để lập các công thức cho v_{kl}.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Đối với sông và kênh của Liên Xô, công thức của Kennơđi đã được L. M. Latusencôp biến đổi thành:

$$v_{kl} = 1,6\sqrt{gd}\left(\frac{H}{d}\right)^{0,2} \qquad (11\text{-}44)$$

và được B. I. Xtuđienhicôp biến đổi thành:

$$v_{kl} = 0,9\sqrt{\frac{\gamma_1 - \gamma_o}{\gamma_o}}\sqrt{g}(Hd)^{0,15} \qquad (11\text{-}45)$$

và còn nhiều biến đổi khác nữa.

Trong các công thức (11-42) ÷ (11-45):

H - chiều sâu dòng chảy;

d - đường kính trung bình của hạt đất;

γ_1 và γ_o - trọng lượng riêng của hạt đất và nước.

Theo lí thuyết trọng lực về hạt lơ lửng do M. A. Velicanôp đề xuất:

$$v_{kl} = BH^{0,5} \qquad (11\text{-}46)$$

trong đó: $B = \frac{1}{n}\sqrt[3]{\frac{0,21w}{\beta\sqrt{g}}}$;

β - sức tải cát tiêu chuẩn của dòng chảy.

Đối với cát: $$\beta = \frac{0,4(\rho_b - \rho)w}{\rho_b i\sqrt{gHi}}$$

trong đó: n - hệ số nhám;

w - độ thô thủy lực;

ρ_b và ρ - mật độ của bùn cát và nước;

i - độ dốc đáy của dòng chảy;

H - chiều sâu của nó.

Quan hệ thực nghiệm của X. A. Ghirskan viết cho hệ thống thủy nông Trung Á và Zakapkazơ:

$$v_{kl} = G.Q^{0,2} \qquad (11\text{-}47)$$

Hệ số G phụ thuộc vào độ thô thủy lực w (1,5 ÷ 3,5 mm/s) thay đổi từ 0,33 đến 0,55; Q - lưu lượng dòng lơ lửng.

Công thức của E. A. Zamarin đối với sông và kênh, trong đó lượng bùn cát không vượt quá 5 - 6 kg/m^3.

$$v_{kl} = \frac{\rho w_o\sqrt{w_{th}}}{0,22\sqrt{Ri}} \qquad (11\text{-}48)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

trong đó: ρ - lượng bùn cát (độ đục) (kg/m^3);

i - độ dốc mặt thoáng;

R - bán kính thủy lực;

w_o - độ thô thủy lực quy ước, khi $0,002 < w_{tb} \leq 0,008$ m/s sẽ bằng w_{tb} còn khi $0,0004 \leq w_{tb} \leq 0,0002$ m/s thì $w_o = 0,002$ m/s.

Các giá trị w_{tb} ghi trong bảng 11.11.

Bảng 11.11. Độ thô thủy lực trung bình theo số liệu của E. A. Zamarin

d (mm)	0,5	0,25	0,1	0,05	0,02	0,01
w_{tb} (mm/s)	53,0	27,0	8,0	2,9	0,6	0,15

Đối với kênh trong lòng bằng đất thông thường, khi hệ số nhám n = 0,0225 và đường kính trung bình của phần lớn cát hạt lơ lửng d_{tb} = 0,25mm, vận tốc không lắng phân giới được xác định theo công thức của I. I. Lêvi:

$$v_{pg} = 0,5\sqrt{R} \quad \text{(m/s)} \qquad (11\text{-}49)$$

trong đó: R - bán kính thủy lực (m).

Trong trường hợp tổng quát, vận tốc không lắng phân giới được xác định theo công thức tổng quát của Lêvi:

$$v_{pg} = 0,01\frac{w}{\sqrt{d_{tb}}}\sqrt[4]{\frac{p}{0,01}}\cdot\frac{0,0225}{n}\cdot\sqrt{R} \ \text{(m/s)} \cdot \qquad (11\text{-}50)$$

trong đó: w - độ thô thủy lực (m/s) đối với hạt có đường kính $d = d_{tb}$;

d_{tb} - đường kính trung bình của phần lớn các hạt lơ lửng (mm);

p - phần trăm (theo trọng lượng) bùn cát lơ lửng có kích thước gần bằng 0,25mm;

n - hệ số nhám lòng dẫn của kênh;

R - bán kính thủy lực (m).

Nếu dòng chảy được bão hòa bằng bùn cát có đường kính d > 0,25mm chiếm không quá 0,01% về trọng lượng, thì vận tốc không lắng phân giới trong kênh với bán kính thủy lực R = 1,0m có thể xác định gần đúng theo đại lượng d_{tb} theo bảng 11.12.

Theo TY của Tổng cục Xây dựng thủy năng (TY-24-03), khi lập thiết kế kĩ thuật cho kênh cấp I và II, tính toán kênh theo tiêu chuẩn lắng được tiến hành trên cơ sở nghiên cứu đặc biệt, còn trong các trường hợp khác thì cho phép dùng công thức của A. A. Tseckaxôp hoặc các số liệu trong bảng 11.16.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 11.12. Vận tốc không lắng (theo số liệu của I. I. Lêvi) khi R = 1m và lượng bùn cát có d > 0,25mm không quá 0,01% về trọng lượng

d_{tb} (mm)	v_{pg} (m/s)	d_{tb} (mm)	v_{pg} (m/s)	d_{tb} (mm)	v_{pg} (m/s)	d_{tb} (mm)	v_{pg} (m/s)
0,1	0,22	0,8	0,90	1,6	1,05	2,4	1,11
0,2	0,45	1,0	0,95	1,8	1,07	2,6	1,11
0,4	0,67	1,2	1,00	2,0	1,10	3,0	1,11
0,6	0,82	1,4	1,02	2,2	1,10		

Ghi chú: Đối với kênh có R = 1m, các giá trị ghi trong bảng v_{pg} cần nhân tương ứng với $\sqrt{R}$. Ví dụ, nếu d_{tb} = 1,0mm và R = 2,0m, thì đại lượng vận tốc không lắng phân giới sẽ bằng $v_{pg} = 0,95\sqrt{R} = 0,95 \times \sqrt{2} = 1,345 \approx 1,35$ m/s.

Công thức của A. A. Tseckaxôp:

$$v_{pg} = 0,646\alpha\beta R^{0,5} \qquad (11\text{-}51)$$

trong đó: v_{pg} - vận tốc phân giới (m/s);

R - bán kính thủy lực (m);

α - hệ số phụ thuộc tỉ số $Ri.10^6$, giá trị α cho trong bảng 11.13;

β - hệ số phụ thuộc vào lượng tương đương cơ học chất lỏng của bùn cát η, giá trị β cho trong bảng 11.14;

i - độ dốc dọc.

Bảng 11.13. Các giá trị của hệ số α trong công thức (11-51)

$Ri.10^6$	α	$Ri.10^6$	α	$Ri.10^6$	α	$Ri.10^6$	α
50	0,97	125	0,985	225	1,00	350	1,015
75	0,975	150	0,99	275	1,005	400	1,02
100	0,98	200	0,995	300	1,01	450	1,025
						500	1,03

Bảng 11.14. Các giá trị của hệ số β trong công thức (11-51)

η g.cm/(l.s)	β	η g.cm/(l.s)	β	η g.cm/(l.s)	β	η g.cm/(l.s)	β
0,001	0,735	0,08	0,900	0,6	1,015	3	1,120
0,01	0,815	0,10	0,915	0,7	1,025	4	1,140
0,02	0,840	0,15	0,935	0,8	1,030	5	1,160
0,03	0,860	0,2	0,950	0,9	1,040	7	1,180
0,04	0,870	0,3	0,975	1,0	1,045	10	1,215
0,05	0,880	0,4	0,990	1,5	1,075	15	1,250
0,06	0,890	0,5	1,005	2	1,090	20	1,270

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Lượng tương đương cơ học chất lỏng của bùn cát bằng:

$$\eta = \frac{\gamma_1 - \gamma}{\gamma_1} \varepsilon \frac{\Sigma(\omega, p_i)}{\Sigma p_i} \qquad (11\text{-}52)$$

trong đó: γ và γ_1 - tỉ trọng của nước và vật liệu bùn cát;

ε - độ đục của dòng chảy, tức là trọng lượng bùn cát tính bằng gam trong 1 lít lưu lượng dòng chảy;

w_i - độ thô thủy lực trung bình của nhóm hạt thứ i (cm/s);

p_i - lượng hạt của nhóm đó tính bằng % trong tổng lượng hạt.

Nếu $\gamma_1 = 2,66$ và $\gamma = 1$, thì:

$$\eta = 0,634\varepsilon \frac{\Sigma(w_i p_i)}{\Sigma p_i} \qquad (11\text{-}53)$$

Các giá trị w_i ghi trong bảng 11.15.

Bảng 11.15. Các giá trị độ thô thủy lực trung bình trong công thức (11-53)

Cỡ hạt (mm)	Độ thô thủy lực trung bình w_i (xm/s)	Cỡ hạt (mm)	Độ thô thủy lực trung bình w_i (m/s)
0,001	0,00005	0,05 - 0,25	1,272
0,001 - 0.005	0,00158	0,25 - 0,50	3.899
0,005 - 0,010	0,01635	0,50 - 1,00	7,527
0,01 - 0,05	0,124		

Nếu vận tốc phân giới được tính theo công thức (11-51) lại bé hơn 0,27 m/s, thì lấy $v_{pg} = 0,27$ m/s.

Các giá trị vận tốc phân giới v_{pg} ghi trong bảng 11.16.

Bảng 11.16. Các giá trị vận tốc phân giới v_{pg} (m/s)
(theo số liệu của V. N. Gônsarôp)

Thành phần bùn cát lơ lửng	Chiều sâu trung bình h (m)	v_{pg} khi lượng hạt bùn cát lơ lửng hơn 0,005mm (tính theo trọng lượng), p%						
		0,1	0,5	1,0	2,5	5,0	7,5	10
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*
0,25–	0,30	0,22	0,28	0,32	0,39	0,45	0,49	0,52
0,05mm–	0,60	0,28	0,37	0,43	0,52	0,60	0,66	0,70
25%	1,00	0,34	0,45	0,52	0,64	0,75	0,82	0,87
0,05–	1,50	0,39	0,54	0,62	0,76	0,89	0,97	1,04
0,005mm–	2,0	0,44	0,60	0,70	0,86	1,01	1,10	1,18
75%	2,50	0,48	0,66	0,77	0,94	1,11	1,22	1,30
	3,00	0,51	0,71	0,83	1,02	1,20	1,32	1,41

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,25–	0,30	0,28	0,37	0,42	0,50	0,58	0,64	0,68
0,05mm–	0,60	0,36	0,48	0,55	0,67	0,78	0,85	0,91
75%	1,00	0,43	0,59	0,68	0,83	0,97	1,06	1,13
0,05–	1,50	0,51	0,69	0,80	0,98	1,15	1,26	1,35
0,005mm–	2,00	0,57	0,78	0,91	1,11	1,31	1,43	1,53
25%	2,50	0,61	0,86	0,99	1,22	1,44	1,57	1,69
25%	3,00	0,66	0,92	1,07	1,32	1,55	1,70	1,82
1,0–	0,30	0,39	0,51	0,58	0,70	0,81	0,88	0,94
0,25mm–	0,60	0,50	0,67	0,76	0,93	1,08	1,18	1,26
25%	1,00	0,60	0,82	0,94	1,15	1,34	1,47	1,57
0,25–	1,50	0,70	0,96	1,11	1,36	1,59	1,75	1,87
0,05mm–	2,00	0,78	1,08	1,26	1,54	1,80	1,98	2,12
75%	2,50	0,85	1,19	1,38	1,69	1,99	2,18	2,33
	3,00	0,92	1,28	1,49	1,83	2,15	2,36	2,53
1,0–	0,30	0,57	0,73	0,84	1,00	1,16	1,27	1,35
0,25mm–	0,60	0,72	0,96	1,10	1,34	1,56	1,70	1,82
75%	1,00	0,87	1,18	1,36	1,66	1,93	2,12	2,27
0,25–	1,50	1,01	1,39	1,61	1,96	2,30	2,52	2,70
0,05mm–	2,00	1,13	1,56	1,81	2,22	2,60	2,86	3,06
25%	2,50	1,23	1,71	1,99	2,44	2,87	3,15	3,37
	3,00	1,32	1,85	2,15	2,64	3,10	3,41	3,65

11.5. SỨC TẢI CỦA DÒNG CÓ ÁP

Dòng chảy có áp của hỗn hợp hai pha (chảy đầy mặt cắt ống) được dùng để vận chuyển bằng sức nước trong xây dựng, nông nghiệp, hóa chất, mỏ và các lĩnh vực công nghiệp khác. Nồng độ của hỗn hợp hai pha trong vận chuyển bằng sức nước cao hơn rất nhiều so với nồng độ (độ đục) trong các dòng chảy trong sông, nhưng các cơ sở vật lí về sự di chuyển các hạt cứng trong cả hai trường hợp đều là như nhau.

Sức tải của dòng chảy - lượng vật liệu rắn được dòng chảy mang đi trong trạng thái phân giới. Phần mặt cắt ngang của đường ống bị lắng đọng hoàn toàn tương tự như đáy bị xói của dòng chảy tự nhiên.

Vận tốc phân giới (trong "TY về tính toán vận chuyển đất có áp bằng thủy lực" của Bộ Xây dựng các trạm thủy điện Liên Xô năm 1971). Trạng thái dòng chảy mà trong đó các phần tử chất rắn bắt đầu lắng được gọi là trạng thái phân giới, còn vận tốc trung bình ứng với trạng thái đó của dòng chảy là vận tốc phân giới, trong đó vận tốc trung bình của hỗn hợp hai pha là vận tốc mà các phần tử chất rắn và lỏng phải đi qua mặt cắt ướt của dòng chảy để cho lưu lượng của hỗn hợp hai pha bằng lưu lượng thực. Khi vận tốc $v > v_{pg}$ toàn bộ đất được vận chuyển ở trạng thái lơ

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

lửng; khi v gần bằng v_{pg} dòng chảy gồm nhiều phần tử lơ lửng, nhưng phần lớn chúng lại di chuyển gần đáy, trong đó trên đáy có thể có một lớp đất mỏng, đôi khi bị dòng chảy xói đi; khi $v < v_{pg}$ - trên đáy ống hình thành một lớp lắng ổn định.

TY 1971 đề nghị dùng công thức sau để tính vận tốc phân giới cho đất cuội - sỏi:

$$v_{pg} = 8,3\sqrt[3]{D}\sqrt[6]{C_6\psi_*} \quad (m/s) \qquad (11.54)$$

trong đó: D - đường kính ống dẫn có quan hệ với v_{pg} qua biểu thức:

$$D = 2\sqrt{\frac{Q}{\pi v_{pg}}} \qquad (11\text{-}55)$$

trong đó Q - lưu lượng của hỗn hợp hai pha (m^3/s).

Nồng độ hỗn hợp hai pha (tỉ số giữa thể tích đất dưới dạng nén chặt q_T trong thể tích giây của nước và thể tích q_h của hỗn hợp hai pha) bằng:

$$C_o = \frac{q_T}{q_h} = \frac{\rho_h - \rho_n}{\rho_T - \rho_n} \qquad (11\text{-}56)$$

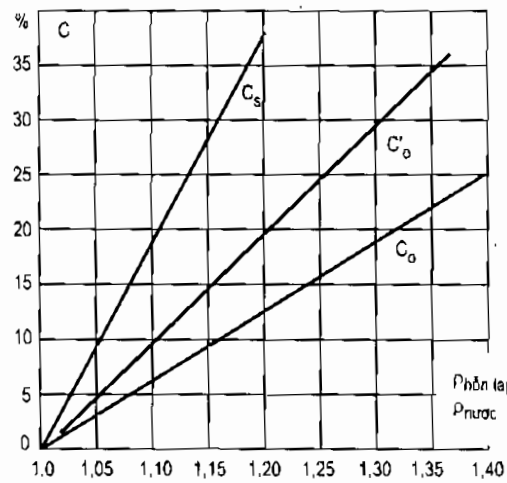
$$q_T + q_n = q_h \qquad (11\text{-}57)$$

trong đó:

q_n - thể tích giây của nước;

ρ_T, ρ_h, ρ_n - lần lượt là mật độ của hạt rắn, hỗn hợp hai pha và nước.

Để xác định C_o, nồng độ trọng lượng C'_o và nồng độ C_s tương ứng với thể rời của đất, nên dùng đồ thị trên hình 11.7; ψ_* - hệ số sức tải của đất phụ thuộc vào độ thô thủy lực. Các giá trị ψ_* được đề nghị, ghi trong bảng 11.17. Đối với đất không đồng nhất, giá trị trung bình ψ_{*tb} được xác định theo công thức:



***Hình 11.7**: Đồ thị quan hệ giữa nồng độ của hỗn hợp hai pha và mật độ của hỗn hợp hai pha*

$$\psi_{*tb} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \psi_{*i} p_i}{100} \qquad (11\text{-}58)$$

trong đó: ψ_{*tb} - đại lượng trung bình cho nhóm hạt thứ i;

p_i - trọng lượng nhóm hạt thứ i tính theo phần trăm trong tổng lượng của mẫu đất.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 11.17. Hệ số sức tải ψ_* trong công thức (11-54)

Cỡ hạt (mm)	0,05 - 0,1	0,1 - 0,25	0,25 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 2,0	2 - 3	3 - 5	5 - 10	10 - 20
ψ_*	0,02	0,20	0,40	0,80	1,2	1,5	1,8	1,9	2,0

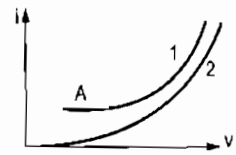
Công thức (11-54) chỉ đúng cho đất cuội - sỏi. Ngoài ra, vận tốc phân giới có thể xác định như là vận tốc lơ lửng theo các công thức trong mục 11.4.

11.6. XÁC ĐỊNH SỨC CẢN THỦY LỰC CHO DÒNG CÓ ÁP CỦA HỖN HỢP HAI PHA

Cũng như trong chuyển động của nước, sức cản thủy lực trong chuyển động của hỗn hợp hai pha cũng chia thành sức cản theo chiều dài và sức cản cục bộ.

a) Sức cản theo chiều dài

Trong cơ giới hóa thủy lực thường xét tổn thất cột nước đơn vị $i = h/l$, tức là tổn thất trên một đơn vị chiều dài. Quan hệ đặc trưng giữa tổn thất cột nước đơn vị i và v - vận tốc trung bình của dung dịch, được trình bày trên hình 11.8. Đường cong 1 thể hiện tổn thất cột nước đơn vị trong chuyển động hỗn hợp hai pha $i_h = f(v)$; đường cong 2 – $i_o = f(v)$ - tổn thất đơn vị khi nước chuyển động trong cùng một ống dưới cùng một lưu lượng và áp suất.



Hình 11.8: *Đặc tính của quan hệ $i = f(v)$ của nước sạch và hỗn hợp hai pha*

Khu vực A ứng với giá trị i_d nhỏ nhất. Vì vậy vận chuyển bằng sức nước ở trạng thái phân giới sẽ kinh tế nhất và phần lớn các công thức thực nghiệm về i_h đều viết cho trạng thái phân giới. Phạm vi ứng dụng của các công thức thực nghiệm quen biết để xác định tổn thất đơn vị của hỗn hợp hai pha do ma sát trong ống thép nằm ngang đối với đất cuội - sỏi được ghi trong bảng 11.19, còn các công thức để tính toán chuyển động các vật liệu không phải là cát trong bảng 11.20[1].

Vì vậy, vận chuyển bằng sức nước ở trạng thái phân giới là kinh tế nhất và đại bộ phận các quan hệ thực nghiệm về i_{hh} đều thuộc về trạng thái phân giới. Phạm vi ứng dụng các công thức thực nghiệm quen thuộc nhất để xác định tổn thất đơn vị của hỗn hợp do ma sát bên trong các ống thép nằm ngang, vận chuyển đất cuội sỏi được ghi trong bảng 11.18, còn các công thức để tính chuyển động các vật liệu không phải á cát - trong bảng 11.9*.

(1) Iuphin A. P. Cơ khí hóa thủy lực, NXBXD, 1965.

https://tieulun.hopto.org

Bảng 11.18. Phạm vi ứng dụng của công thức thực nghiệm cho i_h được xây dựng ở Trường đại học Xây dựng mang tên V. V. Cubusep đối với chuyển động của hỗn hợp hai pha trong ống thép đặt ngang (đất cuội - sỏi)

Đường kính hạt	Các hạt cứng đồng nhất, với đường kính D (mm)								
	< 100	100 - 200	200 - 300	300 - 400	400 - 500	500 - 600	600 - 700	700 - 800	800 - 900
0,01	Công thức của Ximôldurep					$i_h = \rho_h . i_o$ (1) $i_h = i_o[1 + C_o(\rho_r - 1)s]$ (2)			
0,1 - 0,5	Công thức của Iuphin $i_h = \beta \rho_h i_o$ (3)				Công thức của Xilin - Kôbecnhich $i_h = i_o + i_o s\left[10\left(\frac{\sqrt{gD}}{v}\right)^3 + 0,5\right]$ (4)				
0,5 - 2	Công thức của Iuphin $i_h = i_o + \left[i_{pg} - i_o\left(\frac{v_{pg}}{v}\right)^2\right]\sqrt[4]{\frac{v_{pg}}{v}}$ (5)								
2 - 10					Công thức của Diuran (6)				
10 - 20	Công thức của Korjaép (7)				Công thức của Diuran $\frac{i_h - i_o}{si_o} = 190\left(\frac{\sqrt{gD}}{v}\right)^3\left(\frac{\omega}{\sqrt{gd}}\right)^{1,5}$ (6)				
20 - 40		Công thức của Korjaép $i_h = i_o + k(\rho_i - 1)$ (7)							

Ghi chú:

1. Trong công thức (2), hệ số C_o thay đổi trong phạm vi 0,85 ÷ 1,15. Khi có bão hòa cao các hạt với d < 0,05mm, hỗn hợp hai pha chuyển thành chất lỏng cấu trúc, trong đó hệ số C_o bằng 1,8 ÷ 2,5.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

2. Hệ số β trong công thức (3) bằng

$$\beta = 1 + (3,5 + 2D + 0,5\sqrt{d})(\rho_h - 1)^{0,8}\left(\frac{v_{pg}}{v}\right)^{2,35}$$

trong đó: $v_{pg} = 9,8\sqrt[3]{D}\sqrt[4]{w}\left(\frac{\gamma_h}{\gamma_o'} - 0,4\right)$

Ở đây: D - bằng mm; d - bằng mm; w - bằng m/s;

3. Trong công thức (5), v_{pg} được xác định theo công thức (8), còn i_{pg} - theo công thức:

$$i_{pg} = 1,31\rho_h\sqrt{\frac{\rho_h - 1}{\rho_T - 1}}\sqrt[3]{\frac{w^2}{gD}}$$

Khi $\rho_T = 2,65$

$$i_{pg} = \rho_h\sqrt{\rho_h - 1}\cdot\sqrt[3]{\frac{w^3}{gD}}$$

4. Hệ số k trong công thức (7) đối với hạt mịn (d < 2mm) phụ thuộc vào độ lớn của chúng. Đối với hạt d > 2mm, đại lượng k phụ thuộc vào đường kính ống dẫn:

D (mm)	150	175	200	500	700
k	0,5	0,54	0,57	–	0,81

5. Công thức (7) dùng trong một phạm vi có giới hạn của vận tốc, vì nó không xét đến sự phụ thuộc giữa tổn thất cột nước và vận tốc:

D (mm)	150	200	250	300	400	500	600	700
Các vận tốc đề nghị đối với cuội và đá dăm (m/s)	3,1	3,3	3,5	3,7	4,1	4.5	4,9	5,4

www.thuvien247.net

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 11.19. Các công thức để tính vận chuyển bằng sức nước

Tác giả công thức	Các công thức để tính vận chuyển bằng sức nước các vật liệu không phải là cát
1	*2*
A. P. Iuphin	*Vận chuyển đất có hạt không đồng nhất bằng sức nước* $i_{kdn} = i_o + (i_{dn} - i_o)\Delta_o^{0,22}$ trong đó: $\Delta_o = \frac{1}{\delta_o}$; $\delta_o = \frac{\delta}{3}$; $\delta = \frac{d_{90}}{d_{10}}$; i_{dn} lấy theo bảng 11.20; $v_{pg\,kdn} = v_{pg\,dn}\Delta_o^{0,125}$
K. A. Txarevich, A. P. Malusep	*Vận chuyển đất sét hòa tan bằng sức nước* $Q = cD^{2,6}\left(P - \frac{16}{3}\frac{\theta.10^5}{D}\right)^{0,54}$ trong đó: Q - lưu lượng dung dịch l/s; P - độ chênh áp suất trên 1000m dài đường ống (kG/cm^2); θ - ứng suất tĩnh chuyển vị, (kG/cm^2); D - đường kính ống (cm); $c \approx 0,02$.
A. P. Iuphin, K. T. Belôva, G. X. Netsaeva	Trạng thái tầng (cấu tượng) $\lambda = \frac{64}{Re^*}$ trong đó: λ - hệ số trong công thức (4-8) $Re^* = \frac{1}{\frac{\eta}{\rho vD} - \frac{1}{6}\frac{\theta}{\rho v^2}}$ η - hệ số nhớt cấu tượng của dung dịch; ρ - mật độ của dung dịch; θ - ứng suất tĩnh chuyển vị. Trạng thái quá độ: $\lambda = 0,0097 + 2,34\varepsilon + \frac{(2,94 - 534\varepsilon).10^5}{Re^*(2,309 - 97,2.\varepsilon)}$ $\varepsilon = \Delta/r$ - độ nhám tương đối. Trạng thái rối: $\lambda = 0,0097 + 2,34\varepsilon$ (trạng thái quá độ từ cấu tượng sang rối khi Re* = 3000 ÷ 5000)

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

1	2
C. V. Iacôlep	*Vận chuyển bùn bằng sức nước* Trạng thái tầng: $\lambda = \frac{64}{Re^*}$ Trạng thái quá độ: $\lambda = 0,006 + \frac{0,003}{0,17} + \frac{0,7}{(Re^*)^{0,5}}$ Trạng thái rối: $\lambda = 0,006 + \frac{0,03}{\varepsilon^{0,17}}$
ĐHXD mang tên V. V. Cuibusep	*Vận chuyển hoàng thổ bằng sức nước* Khi $v \geq 2$ m/s $\quad i_{hh} = i_o \delta_{hh}$ trong đó: δ_{hh} - trọng lượng riêng tương đối của hỗn hợp. Khi $0,2 < \frac{v^2}{gD} < 1,5 \quad \lambda_{hh} = \lambda_o + A\left(\frac{gD}{v^2}\right)^m \rho$ trong đó: $\rho = \frac{\gamma_{hh} - \gamma_o}{\gamma_T - \gamma_o}$ - trọng lượng thể tích của hỗn hợp; $A = 0,1; \quad m = 4,5.$ Trong trạng thái chảy tầng $\left(\frac{v^2}{gD} > 1,5\right)$ $\lambda_{hh} = \lambda_o + k\rho$ trong đó: $k = 0,07.$
A. P. Iuphin	*Vận chuyển hỗn hợp cát - sét bằng sức nước* $i_{hh} = i_s + \frac{i_c - i_s}{100} p$ trong đó: i_s - tổn thất cột nước trong chuyển động hỗn hợp sét; i_c - tổn thất cột nước trong chuyển động hỗn hợp cát; $v_{pg} = 9,8 \sqrt[3]{D} \sqrt[4]{W} \left(\frac{\gamma_{hh}}{\gamma_s} - \frac{\gamma_s}{\gamma_o}\right)$ trong đó: p - lượng cát tính bằng %; γ_s - trọng lượng riêng của nước có sét hòa tan (không có cát); γ_{hh} - trọng lượng riêng của hỗn hợp cát - sét.
V. C. Ucôlốp	*Vận chuyển tro và xỉ bằng sức nước* $i_{hh} = i_o \delta_{hh} + \frac{1,31.10^{-5}}{Dv^{0,38}} \delta_{hh} \sqrt[3]{\mu_T^2}$ trong đó: μ_T - nồng độ trọng lượng; D - tính bằng m; v - tính bằng m/s $v_{pg} = 1,76 D^{0,48} \sqrt[6]{\mu_T}$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Kết cấu chung của công thức của tổn thất cột nước đơn vị trong trạng thái phân giới có dạng:

$$i_{hh} = i_o + \Delta i \qquad (11\text{-}59)$$

trong đó:

Δi - tổn thất bổ sung có liên quan đến sự hiện diện của các hạt rắn trong dòng chảy và phụ thuộc vào độ lớn và nồng độ của chúng, vào đường kính ống và vận tốc trung bình của dòng chảy;

i_o - tổn thất do ma sát trong chuyển động của nước.

TY năm 1971 đề nghị xác định số hạng thứ nhất trong công thức (11-59) như tổn thất đơn vị ở dòng chảy của nước trong ống trơn thủy lực, tức là, đối với hệ số sức cản theo chiều dài λ ta dùng công thức Kônacôp

$$\lambda = \frac{0,31}{(\lg Re - 1,0)^2} \qquad (11\text{-}60)$$

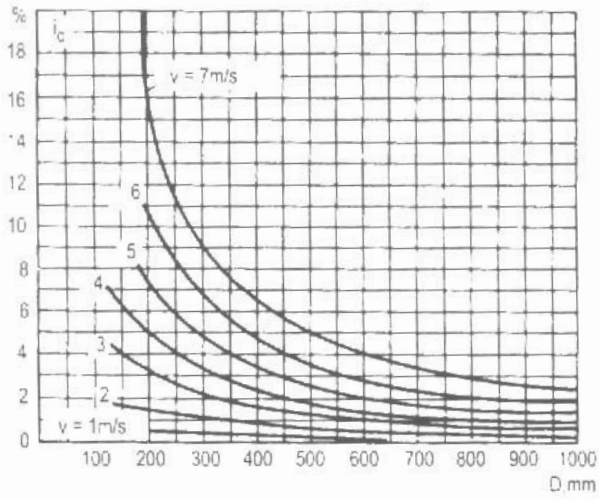
trong đó: $Re = vD/\nu$;

D - đường kính ống;

v - vận tốc trung bình của hỗn hợp hai pha;

ν - hệ số động học nhớt của nước.

Trong TY năm 1971 có đồ thị để xác định độ dốc i_o trong ống trơn thủy lực (hình 11.9).



Hình 11.9: *Đồ thị để tính toán độ dốc thủy lực khi nước chuyển động trong ống thép mới*

Khi mặt trong của ống bị gỉ, TY năm 1971 đề nghị tính λ theo công thức:

$$\lambda = \frac{0,24}{D^{0,226}}\left[1,9.10^{-6} + \frac{\nu}{v}\right]^{0,226} \qquad (11\text{-}61)$$

hoặc dùng đồ thị trên hình 11.10.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Đối với hỗn hợp hai pha cát - sỏi TY năm 1971 đề nghị tìm Δi theo công thức:

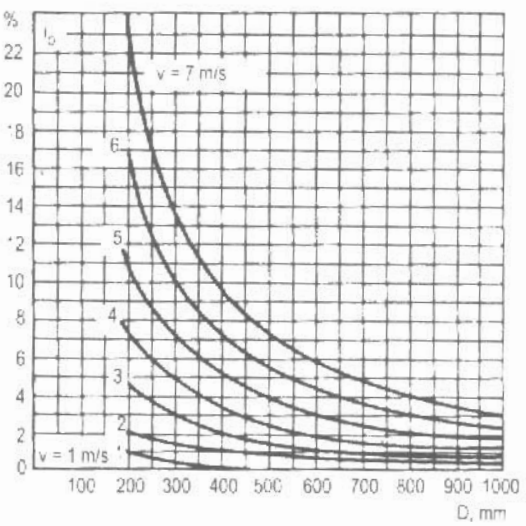
$$\Delta i = \delta \sqrt[4]{j}\ \sqrt[3]{C_o^2}\ \frac{Q_{hhpg}}{Q_{hh}} \qquad (11\text{-}62)$$

trong đó:

δ - hệ số xét đến ảnh hưởng của độ lớn tương đối của hạt d_o/D và được xác định theo bảng 11.20;

C_o - nồng độ của hỗn hợp hai pha;

j - hệ số về tính khác nhau của hạt $j = 3d_{10}/d_{90}$.



Hình 11.10: Đồ thị để tính toán độ dốc thủy lực khi nước chuyển động trong ống thép bị gỉ

Bảng 11.20. δ - hệ số tính đến ảnh hưởng của độ lớn tương đối của hạt

$100\frac{d_o}{D}$	Đường kính của ống D (m)						
	0.10 - 0.35	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90
0.05	0.050	0.051	0.052	0.053	0.054	0.055	0.056
0.10	0.090	0.100	0.110	0.125	0.140	0.150	0.160
0.15	0.120	0.130	0.155	0.180	0.210	0.230	0.250
0.20	0.140	0.170	0.205	0.240	0.270	0.300	0.330
0.30	0.180	0.210	0.260	0.300	0.340	0.375	0.410
0.40	0.215	0.275	0.325	0.370	0.400	0.435	0.475
0.50	0.230	0.305	0.360	0.405	0.440	0.475	0.505
0.60	0.240	0.330	0.380	0.430	0.470	0.505	0.535
0.70	0.247	0.350	0.400	0.450	0.490	0.530	0.560
0.80	0.250	0.365	0.410	0.465	0.510	0.545	0.580
0.90	0.255	0.375	0.420	0.480	0.530	0.565	0.605
1.0	0.260	0.385	0.430	0.490	0.540	0.580	0.615
1.5	0.270	0.402	0.460	0.530	0.580	0.630	0.665
2.0	0.280	0.415	0.470	0.550	0.595	0.650	0.690
2.5	0.285	0.425	0.480	0.565	0.605	0.665	0.705
3.0	0.290	0.430	0.490	0.575	0.620	0.675	0.715
3.5	0.295	0.435	0.500	0.585	0.630	0.680	0.725
4.0	0.300	0.450	0.510	0.595	0.635	0.685	0.730
4.5	0.300	0.450	0.520	0.600	0.640	0.690	0.735
5.0	0.300	0.450	0.530	0.600	0.640	0.690	0.735

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Khi hỗn hợp hai pha chuyển động với vận tốc $v > v_{pg}$, các hạt cứng trong mặt cắt ngang được phân bố đều hơn rất nhiều, ảnh hưởng tăng hóa của chúng xảy ra trong tất cả các điểm và đường cong 2 tiến gần đến đường cong 1 (hình 11.8). Dòng chảy có thể xem là đồng nhất và:

$$i_{hh} = \lambda \frac{1}{D} \frac{v^2}{2g} \frac{\gamma_{hh}}{\gamma} \qquad (11\text{-}63)$$

hoặc:

$$i_{hh} = i_o \frac{\gamma_{hh}}{\gamma} \qquad (11\text{-}64)$$

b) Sức cản cục bộ

Tổn thất cột nước trong sức cản cục bộ

$$h_c = \zeta \frac{v^2}{2g} \frac{\gamma_{hh}}{\gamma} \qquad (11\text{-}65)$$

trong đó:

ζ - hệ số sức cản cục bộ;

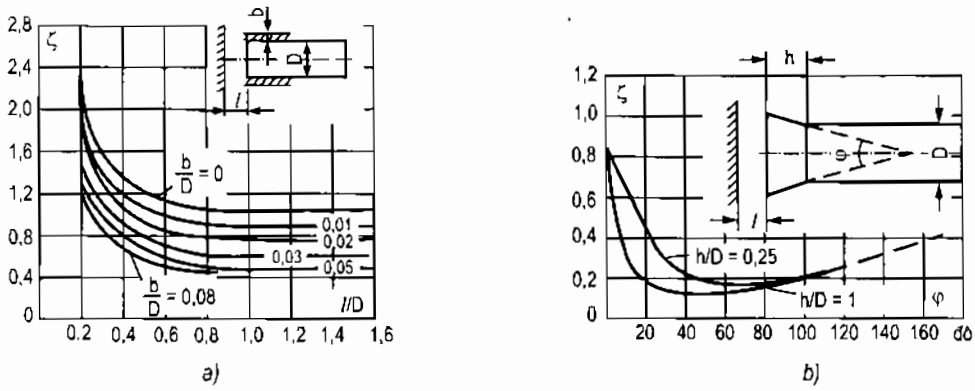
$v^2/2g$ - cột nước vận tốc;

v - vận tốc trung bình của hỗn hợp hai pha tại mặt cắt sau sức cản cục bộ;

γ_{hh} và γ - tỉ trọng của hỗn hợp hai pha và nước;

h_c - được tính theo công thức (11-65) khi các hạt cứng phân bố đều trong mặt cắt ngang và không có sự lắng đọng.

Miệng vào ống hút của máy hút bùn (hình 11.11)



Hình 11.11: *Đồ thị để xác định hệ số tổn thất cục bộ của hỗn hợp hai pha tại miệng vào của ống hút bùn*
a) Miệng vào hình trụ; b) Miệng vào hình nón, l/D = 1.

Khi dòng chảy mở rộng đột ngột, hệ số ζ phụ thuộc vào tỉ số giữa diện tích mặt cắt ngang của ống trước chỗ mở rộng và sau nó:

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

ω_1/ω_2	1	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2
ζ	0	0,062	0,44	1	2,25	5,4	16

Khi ống mở rộng dần

Đối với góc mở rộng $8^o < \varphi < 25^o$

$$\zeta = \sin\varphi\left(1 - \frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2 \qquad (11\text{-}66)$$

Khi $\varphi > 25$, ζ lấy như khi mở rộng đột ngột.

Khi ống thu hẹp dần, ζ phụ thuộc vào góc hình nón φ:

φ (độ)	7	10	20	30	40	50	60	70	80
ζ	0,10	0,16	0,20	0,24	0,28	0,31	0,32	0,34	0,35

Dòng chảy ngoặt

Khi ngoặt đột ngột (hình 11.12a), ζ phụ thuộc vào góc α.

α (độ)	30	40	50	60	70	80	90
ζ	0,16	0,3	0,4	0,55	0,7	0,9	1,1

Khi ngoặt êm (hình 11.12b)

$$\zeta = \zeta' f(\alpha) \qquad (11\text{-}67)$$

trong đó: ζ' - hệ số sức cản khi ngoặt êm với góc 90^o (phụ thuộc vào tỉ số giữa bán kính ngoặt R và đường kính ống dẫn D):

R/D	1	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0
ζ'	0,84	0,6	0,48	0,36	0,30	0,28

$f(\alpha)$ phụ thuộc vào góc ngoặt của ống:

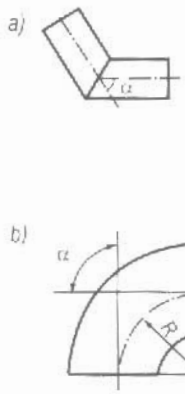
α (độ)	20	30	40	50	60	70	80	90	120	140	160	180
$f(\alpha)$	0,4	0,55	0,65	0,75	0,83	0,88	0,95	1	1,13	1,20	1,27	1,33

Van ngược (hình 11.13), hệ số ζ phụ thuộc vào góc nâng α của đĩa van:

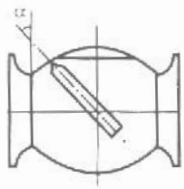
α (độ)	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15
ζ	1,7	2,3	3,2	4,6	6,6	9,5	14	20	30	42	62	90

https://tieulun.hopto.org

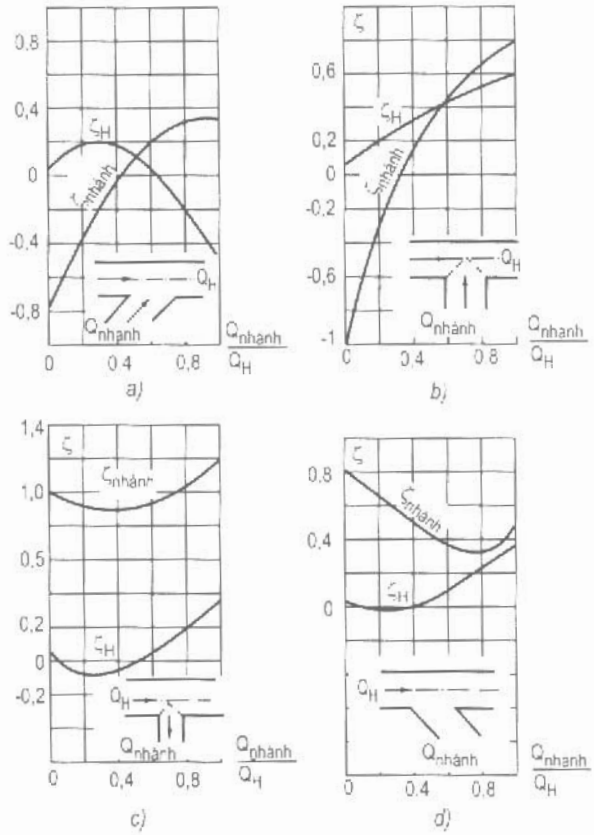
www.thuvien247.net



Hình 11.12: Ống ngoặt
a) Ngoặt đột ngột;
b) Ngoặt êm



Hình 11.13: Van ngược



Hình 11.14: *Đồ thị để xác định hệ số tổn thất cục bộ*
a) Đối với hai dòng chảy gặp nhau dưới một góc nhọn;
b) Đối với hai dòng chảy gặp nhau dưới một góc vuông;
c) Đối với hai dòng chảy chia dòng dưới một góc vuông;
d) Đối với hai dòng chảy chia dòng dưới một góc nhọn

Khóa (kiểu Lutlô). Hệ số ζ được xác định bằng độ mở của khóa:

Độ mở	1/8	2/8	3/8	4/8	5/8	6/8	7/8	1
ζ	98	17	5,5	2,1	0,8	0,3	0,07	0,05

Khóa chẵn. Hệ số ζ phụ thuộc vào độ mở của khóa. F_v/F - độ mở

F_v/F	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
ζ	93	44,5	17,9	8,12	4,02	2,08	0,95	0,40	0,09

Cửa thông hơi và cửa kiểm tra: $\zeta = 0,2$.

Miệng vào ống ở cách xa đáy rốn thu nước: $\zeta = 0,5 \div 0,6$.

Ống nhánh: trị số ζ ghi trên các đồ thị hình 11.14.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Miệng ra khỏi ống: $\zeta = 1$.

Ống đo lưu lượng Văngturi. Khi tỉ số giữa các diện tích bé và lớn của các mặt cắt ngang nằm trong phạm vi từ 0,5 ÷ 0,8, tổn thất cột nước trong chuyển động nước $h_w = 0{,}1\Delta h$, trong chuyển động của hỗn hợp hai pha $h_w = (0{,}15 \div 0{,}2)\Delta h$, trong đó Δh - hiệu số của kết quả đọc trên ống đo áp tại mặt cắt lớn và bé.

TY năm 1971 cho các quan hệ sau đây để xác định tổn thất cột nước tổng cộng theo chiều dài và cục bộ.

1. Trong ống nối khi nối bằng khớp quay:

$$i_{hho} = a_l i_{hh} \qquad (11\text{-}68)$$

trong đó: a_l - phụ thuộc vào góc của vòng dây mềm nối và thay đổi từ 1,2 đến 2,8 (trung bình a = 2,0).

2. Tổn thất cục bộ và tổn thất chiều dài trong ống hút và trong thân của máy đào đất:

$$h_d = \zeta_d \frac{v^2}{2g} \qquad (11\text{-}69)$$

Hệ số ζ_d phụ thuộc vào loại máy đào và nồng độ của hỗn hợp hai pha

Loại máy đào đất	Giá trị ζ_d tùy thuộc vào nồng độ của hỗn hợp hai pha		
	$C_o = 0{,}05$	$C_o = 0{,}10$	$C_o = 0{,}15$
1000 - 80	0,90	1,05	1,20
500 - 60	1,30	1,45	1,70
300 - 40	1,65	1,90	2,20

3. Tổn thất cục bộ và tổn thất đường ống tổng cộng trong các đoạn ống phun:

$$h_n = \zeta \frac{v^2}{2g} \frac{\rho_{hh}}{\rho}$$

4. Tổn thất cục bộ và tổn thất dọc đường tổng cộng trong các ống phân phối (trên bản đồ bồi) tại các chỗ tháo lắp nhanh:

$$i_{hhpp} = 1{,}5 i_{hh} \qquad (11\text{-}70)$$

5. Tổn thất cục bộ và tổn thất dọc đường tổng cộng trong các ống nghiêng so với mặt ngang (khi $\alpha > 25^o$ và nếu chiều dài của đoạn đó lớn hơn 10% chiều dài tổng cộng):

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$i_{\alpha hh} = i_o + (i_{hh} - i_o)\cos\alpha \qquad (11\text{-}71)$$

trong đó:

α - góc nghiêng của ống so với đường nằm ngang;

i_{hh} - tổn thất cột nước đơn vị khi hỗn hợp hai pha chuyển động và khi $\alpha = 0$;

i_o - tổn thất đơn vị khi nước chuyển động với $\alpha = 0$.

11.7. CÁC BÀI TOÁN CƠ BẢN TRONG TÍNH TOÁN CHUYỂN ĐỘNG CÓ ÁP CỦA HỖN HỢP HAI PHA

Khi tính toán vận chuyển có áp, thường biết trước nồng độ của hỗn hợp nước và thành phần cơ học của đất gốc. Ngoài ra, vận tốc phân giới của chuyển động của hỗn hợp hai pha sẽ xác định đơn tri đường kính D. Vì vậy các bài toán cơ bản trong tính toán là xác định tổn thất cột nước h_w ở lưu lượng Q đã cho của hỗn hợp hai pha hoặc lưu lượng Q ở h_w đã cho.

Theo phương pháp của TY năm 1971, v_{pg} được xác định theo công thức (11-54), là công thức ta phải thay giá trị ước lượng đường kính ống D lấy theo bảng 11.17 vào đó; sau đó tính lại D theo công thức (11-55) rồi xác định Q hoặc h_w.

	Trục lượn êm						Trục lượn đột ngột				
	$\alpha = 90^o$			$\alpha = 60^o$			$\alpha = 30^o$			$\alpha = 60^o$	$\alpha = 30^o$
R/D	1,0	1,5	3,0	1,0	1,5	3,0	1,0	1,5	3,0	–	–
ζ	0,45	0,4	0,24	0,30	0,20	0,16	0,1	0,07	0,05	0,5	0,16

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Chương 12

CHUYỂN ĐỘNG CỦA NƯỚC NGẦM

A. ĐỊNH LUẬT CƠ BẢN VỀ THẤM, CÁC PHƯƠNG TRÌNH CHUYỂN ĐỘNG, CÁC CÔNG THỨC ĐỂ VẼ ĐƯỜNG MẶT NƯỚC TỰ DO

12.1. ĐỊNH LUẬT CƠ BẢN VỀ THẤM

Định luật cơ bản về thấm (định luật Đacxi) được biểu diễn bằng phương trình vận tốc thấm:

$$v = kJ \qquad (12\text{-}1)$$

hoặc bằng phương trình lưu lượng:

$$Q = k\omega J \qquad (12\text{-}2)$$

trong đó:

v - vận tốc thấm (m/s);

Q - lưu lượng thấm (m^3/s);

ω - diện tích toàn phần mặt cắt ngang của dòng nước ngầm, kể cả diện tích mà những hạt đất chiếm chỗ;

J - độ dốc thuỷ lực bằng H/L (H - tổn thất cột nước trên đoạn đường thấm L);

k - hệ số thấm (m/s).

Các giới hạn ứng dụng định luật cơ bản về thấm

Định luật cơ bản về thấm mất hiệu lực nếu vận tốc thấm vượt quá trị số "phân giới" của mình, là trị số đã được N. N. Pavlôpxki xác định theo công thức:

$$v_{pg} = \frac{(0,75m + 0,23)\,Re_{pg}\,\nu}{d} \qquad (12\text{-}3)$$

trong đó:

Re_{pg} - con số tương tự như số Râynôn và theo nghiên cứu của N. N. Pavlôpxki bằng 7 ÷ 9;

ν - hệ số nhớt động;

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

m - độ rỗng của đất $\left(\frac{\text{Thể tích lỗ rỗng đất}}{\text{Thể tích toàn bộ đất}}\right)$;

d - đường kính hạt đất.

Ghi chú: Đối với nước, khi $\nu = 0{,}01$ cm^2/s và khi độ rỗng bằng, ví dụ, m = 0,4 ta sẽ có:

$$v_{pg} \approx \frac{(0{,}035 + 0{,}050)}{d} \quad \text{(cm/s)} \qquad (12\text{-}4)$$

Đôi khi các giới hạn này đối với v_{pg} được mở rộng và lấy:

$$v_{pg} \approx \frac{0{,}03 + 0{,}18}{d}$$

Công thức (12-3) được dùng để xác định giới hạn "trên" của định luật Đacxi.

P. Ya. Pôlubarinôva - Côtsina cho rằng, cần phải xác định giới hạn "dưới" của miền ứng dụng định luật Đacxi, khi bắt đầu có sự ảnh hưởng của các lực phân tử.

M. Đ. Miliônsikôp đề nghị công thức cho số Re bằng:

$$\text{Re} = \frac{lv}{m\nu} \qquad (12\text{-}5)$$

trong đó: $l = \sqrt{C/m}$ - tỉ lệ xích độ dài bên trong của môi trường xốp;

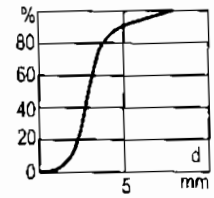
C - hệ số ngậm nước đặc trưng cho tính thấm của môi trường xốp không phụ thuộc vào loại chất lỏng và có thứ nguyên diện tích, và có quan hệ với hệ số thấm bằng hệ thức sau:

$$C = k\mu/\gamma = k\nu/g$$

Trị số phân giới Re_{pg}, theo công thức của M. Đ. Miliônsikôp tìm được bằng thực nghiệm và bằng $\text{Re}_{pg} = 0{,}022$.

Khi vận tốc $v > v_{pg}$, nên dùng các công thức khác, thí dụ công thức (12-4).

Vận tốc thấm: Vận tốc thấm được xác định bằng tỉ số Q/ω, trong đó: ω - diện tích mặt cắt ngang của dòng nước ngầm kể cả diện tích các hạt đất chiếm chỗ.



Hình 12.1

Thành phần cơ học của đất được đặc trưng bằng đường cong phân tích hạt (hình 12.1).

Vận tốc thực của dòng nước trong các khe rỗng của đất lớn hơn vận tốc thấm. Nếu diện tích mặt cắt ngang của dòng nước ngầm là ω_1, còn diện tích mặt cắt của hạt đất là ω', thì $\omega_1 = \omega - \omega'$ và vận tốc thực trung bình của dòng chảy bằng $v' = v\omega/\omega_1$.

Trong đất hạt lớn, khi mà vận tốc lớn làm cho định luật cơ bản về thấm không đúng nữa, có thể dùng công thức của Crêbec[1]

---

[1] Tsectôuxôp M. Đ. Thuỷ lực, NXBNL, 1962.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$v = 173\left(\frac{d}{q_o} J\right)^m \quad (cm/s) \qquad (12\text{-}6)$$

trong đó: $m = \frac{0,8 + d}{0,8 + 2d}$;

J - độ dốc thuỷ lực;

d - đường kính trung bình của hạt (cm).

Hệ số thấm:

Việc xác định giá trị của hệ số thấm của đất tự nhiên phần nhiều được tiến hành bằng thí nghiệm trong phòng hoặc trên thực địa, hãn hữu mới dùng các công thức thực nghiệm.

Để tính toán gần đúng, có thể dùng các trị số hệ số thấm ghi trong bảng 12.1.

Bảng 12.1. Trị số ước lượng của hệ số thấm của các loại đất thường gặp

Loại đất	k (cm/s)
Đá dăm cỡ hạt 4 - 7m	3,5
Đá dăm cỡ hạt 2mm	3,0
Cát sạch	1,0 - 0,01
Đất cát pha sét	0,01 - 0,005
Đất sét - cát	5.10^{-3} - 10^{-4}
Sét	10^{-4} - 10^{-7}
Sét chặt (sét đầm)	10^{-7} - 10^{-10}

Các công thức thực nghiệm để xác định hệ số thấm

1. Công thức của Khazen với đất cát:

$$k = Ac(0,7 + 0,03t)d_t^2 \qquad (12\text{-}7)$$

trong đó: k - hệ số thấm (cm/s);

A = 0,00116, khi k tính bằng m/ngày-đêm thì A = 1;

c - xét đến sự có mặt của bùn hoặc các hạt bùn trong cát, đối với cát tương đối sạch c = 1.000 ÷ 700, cát tương đối "bẩn" c = 700 ÷ 500;

d_t - đường kính thực (mm) (xem dưới);

t - nhiệt độ của nước (^oC).

Công thức (12-7) áp dụng được khi hệ số không đồng nhất $d_{60}/d_t \leq 5,0$ và $0,01 \leq d_t \leq 0,3$cm (d_{60} - đường kính mà các hạt nhỏ hơn chiếm 60% trọng lượng mẫu).

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Công thức của I. I/ Zauebrây (Linengrat) cho đất không đồng nhất và nhiệt độ nước t = 18°C:

$$k = \beta = \frac{m^3}{(1-m)^2} d_t^2 \quad (cm/s) \qquad (12\text{-}8)$$

135 < β < 350, trong nhiều trường hợp lấy β = 330 ÷ 350;

m - hệ số rỗng bằng $m = \frac{W - \omega}{W}$ (ω - thể tích các hạt đất, chứa trong thể tích W).

Dùng cho d dưới 0,5mm.

3. Công thức E. A. Zamarin:

$$k = 8{,}07 \frac{m^3}{(1-m)^2} c_p \tau d_t^2 \quad (cm/s) \qquad (12\text{-}9)$$

trong đó: c_p, τ - các hệ số trong bảng 12.2, 12.3;

d_t - xác định theo phương pháp Zamarin (mm);

m - hệ số rỗng.

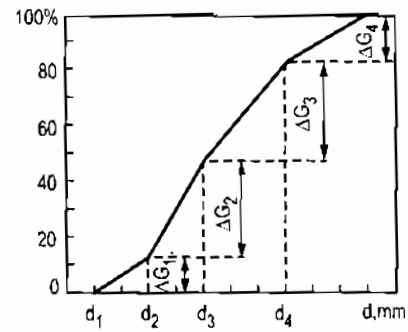
Với cát có độ không đồng nhất lớn, tốt nhất là nên xác định hệ số thấm theo công thức của Zauebrây.

Đường kính tác dụng:

Đường kính tác dụng là đường kính hạt của một loại đất giả định gồm những hạt có đường kính giống nhau và có hệ số thấm bằng hệ số thấm của đất tự nhiên. Đường kính tác dụng d_t, trong công thức của Khazen được xác định bằng đường cong phân tích hạt, sao cho tổng số trọng lượng hạt có đường kính từ 0 đến d_t chiếm 10%.

Trong công thức của I. I. Zauebrây, đường kính tác dụng d_t cũng được xác định tương tự như trên, tuy có khác là tổng số trọng lượng số hạt có đường kính từ 0 đến d_t phải chiếm 17%.

Với chú ý rằng đường cong thành phần cơ học của đất trong thực tế là một đường gẫy khúc (hình 12.2), nên trong công thức của E. A. Zamarin, đường kính tác dụng được xác định theo các công thức (12-10) và (12-11):



Hình 12.2

$$\frac{1}{d_t} = \sum_{n=1}^{n=m} A_i \ln \frac{d_{n+1}}{d_n} + \frac{3}{2} \frac{\Delta Gi}{d_i} \qquad (12\text{-}10)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

trong đó:

A_i - hệ số góc của đường gẫy khúc;

d_i - đường kính lớn nhất của nhóm hạt sau cùng ($d < 0,0025mm$);

d_n và d_{n+1} - đường kính nhỏ nhất và lớn nhất của nhóm hạt đã cho;

ΔG_i - phần trọng lượng đất (theo phần trăm) so với tổng trọng lượng của nhóm hạt đã cho.

Nếu đường cong thành phần hạt bắt đầu từ đường kính d_1, ta dùng công thức:

$$\frac{1}{d_t} = \sum_{n=1}^{n=m} A_i \ln \frac{d_{n+1}}{d_n} \qquad (12\text{-}11)$$

Bảng 12.2. Giá trị hệ số c_p tùy thuộc vào độ rỗng của đất

c_p	0,757	0,731	0,706	0,680	0,656	0,632	0,608	0,585	0,562	0,540
m	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35	0,36

c_p	0,518	0,497	0,476	0,456	0,435	0,416	0,397	0,378	0,360	0,342
m	0,37	0,38	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46

Bảng 12.3. Các giá trị của hệ số τ tùy thuộc vào nhiệt độ

t (độ)	0	5	8	10	12	15	17	20	23	25	29
τ	0,585	0,698	0,766	0,807	0,854	0,926	0,975	1,052	1,131	1,180	2,231

12.2. CÁC HỆ THỨC CƠ BẢN VỀ CHUYỂN ĐỘNG KHÔNG ÁP CỦA NƯỚC NGẦM

a) Các phương trình cơ bản

Chuyển động đều. Trong chuyển động đều v = const dọc theo đường nước thấm và độ dốc mặt nước tự do bằng độ dốc đáy. Vận tốc thấm được xác định từ biểu thức:

$$v = kJ$$

Chuyển động không đều. Đối với lòng dẫn lăng trụ, khi $i > 0$, phương trình vi phân chuyển động không đều có dạng (hình 12.3):

$$\frac{dh}{ds} i = \frac{h - h_o}{h} \qquad (12\text{-}12)$$

trong đó: h - chiều sâu của dòng chảy tại mặt cắt đang xét;

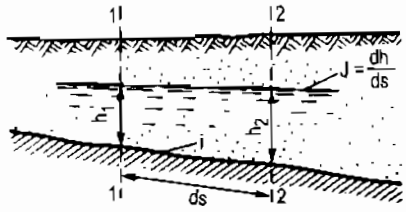
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

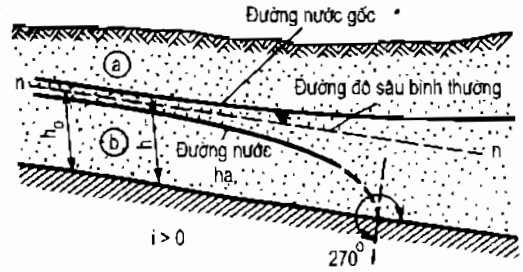
s - khoảng cách từ mặt cắt đang xét đến mặt cắt ban đầu nào đó;

i - độ dốc tầng đất đáy;

h_o - chiều sâu dòng chảy trong chuyển động đều (chiều sâu bình thường).



Hình 12.3



Hình 12.4

b) Các dạng đường mặt nước tự do trong chuyển động không đều

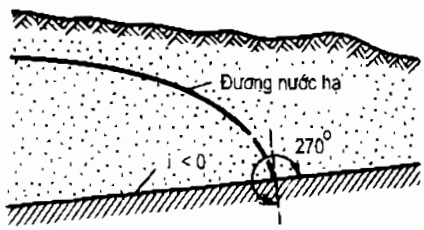
1. Khi tầng đáy có độ dốc thuận i > 0 (hình 12.4), đường chiều sâu bình thường (tức là chiều sâu chảy đều) chia dòng chảy ra làm hai khu vực a và b.

Khu vực a: chiều sâu dòng chảy $h > h_o$; $\frac{dh}{ds} > 0$; do đó chiều sâu h tăng dần theo dòng chảy và mặt tự do có dạng đường nước dâng.

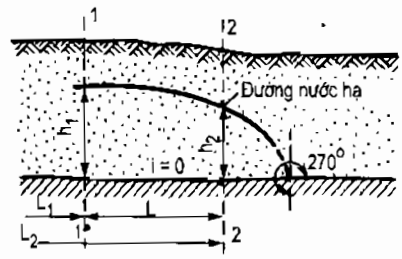
Khu vực b: chiều sâu dòng chảy $h < h_o$; $\frac{dh}{ds} < 0$; vì vậy chiều sâu h giảm dần theo dòng chảy và mặt tự do có dạng đường nước hạ.

2. Khi tầng đáy có độ dốc nghịch i < 0 (hình 12.5), ta luôn luôn có $\frac{dh}{ds} < 0$ và chiều sâu dòng chảy giảm dần theo dòng chảy (đường nước hạ).

3. Khi tầng đáy có độ dốc bằng không i = 0 (hình 12.6) ta chỉ có đường nước hạ.



Hình 12.5



Hình 12.6

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

c) Các công thức để vẽ mặt nước tự do khi nước ngầm chuyển động không đều (theo N. N. Pavlôpxki)

1. Khi độ dốc tầng đáy bằng không i = 0 (hình 12.6), ta dùng công thức quen biết của Đuypuy:

$$l = \frac{k}{2q}(h_1^2 - h_2^2) \qquad (12\text{-}13)$$

trong đó:

l - khoảng cách giữa hai mặt cắt có chiều sâu h_1 và h_2;

k - hệ số thấm của đất;

q - lưu lượng riêng của nước ngầm (lưu lượng trên một đơn vị chiều rộng của dòng chảy).

Công thức (12-13) dùng cho dòng chảy nước ngầm rộng và không sâu.

2. Khi độ dốc tầng đáy khác không. Đối với những trường hợp thực tế quan trọng - dòng nước ngầm tiết diện hình chữ nhật, rộng và không sâu - phương trình vi phân cơ bản của chuyển động không đều có thể tích phân đến cùng.

+ i > 0 - độ dốc đáy của dòng nước ngầm dương (hình 12.4):

$$l = \frac{h_o}{i}\left(\eta_2 - \eta_1 + \ln\frac{\eta_2 - 1}{\eta_1 - 1}\right) \qquad (12\text{-}14)$$

trong đó:

h_1 và h_2 - chiều sâu thực của dòng tại hai mặt cắt cách nhau một khoảng l;

h_o - chiều sâu chuyển động đều;

$$\eta_1 = \frac{h_1}{h_o};\ \eta_2 = \frac{h_2}{h_o}.$$

+ Khi i < 0 - độ dốc của dòng nước ngầm là độ dốc nghịch:

$$l = \frac{h'_o}{i'}\left(\xi_1 + \xi_2 + \ln\frac{1 + \xi_2}{1 + \zeta_1}\right) \qquad (12\text{-}15)$$

trong đó:

h'_o - chiều sâu giả định, về trị số bằng chiều sâu chuyển động trên dưới cùng một lưu lượng và với độ dốc dương mà trị số đã cho;

i' - giá trị tuyệt đối của độ dốc đã cho | i' | > 0;

$$\xi_1 = \frac{h_1}{h'_o};\ \xi_2 = \frac{h_2}{h'_o}.$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

d) Các công thức để xác định lưu lượng

Với độ chính xác khoảng chừng 2 ÷ 5% đủ dùng trong thực tế, có thể xác định trị số lưu lượng q theo công thức của V. X. Kôzơlôp.

+ Khi độ dốc đáy thuận (i > 0):

$$q = \frac{k(h_1^2 - h_2^2)}{2l} + \frac{ki(h_1 + h_2)}{2} \qquad (12\text{-}16)$$

+ Khi độ dốc đáy bằng không (i = 0), từ công thức (12-16) có thể suy trực tiếp ra công thức Đuypuy đối với lưu lượng nước ngầm có đáy nằm ngang:

$$q = \frac{k(h_1^2 - h_2^2)}{2l} \qquad (12\text{-}17)$$

+ Khi độ dốc đáy nghịch (i < 0):

$$q = \frac{k(h_1^2 - h_2^2)}{2l} - \frac{ki(h_1 + h_2)}{2} \qquad (12\text{-}18)$$

B - CÁC TRƯỜNG HỢP RIÊNG CỦA CHUYỂN ĐỘNG NƯỚC NGẦM

12.3. SỰ CHẢY CỦA NƯỚC NGẦM VÀO GIẾNG ĐỨNG

a) Các loại giếng cơ bản

Giếng thông thường - nước chảy đến có mặt nước tự do, gọi là đường bão hòa (trùng với đường ống đo áp).

Giếng phun (hay là có áp). Trong trường hợp này đường đo áp nằm cao hơn mép trên của tầng ngậm nước.

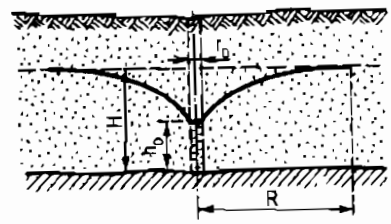
Giếng đất - phun - nước chảy đến giếng với mặt bão hòa, mặt đó dựa trên mép tầng ngậm nước tại một khoảng cách nhất định.

Giếng hoàn thiện là giếng đào sâu xuống tận tầng đáy không thấm, còn giếng không hoàn thiện là giếng không đào sâu xuống đến tầng không thấm.

b) Giếng đất hoàn thiện

1. Giếng cấp nước (hình 12.7). Đêbit của giếng được xác định theo công thức (đề nghị của Đuypuy):

$$Q = \frac{\pi k(H^2 - h_o^2)}{\ln \frac{R}{r_o}} \qquad (12\text{-}19)$$



Hình 12.7

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

trong đó: H - độ sâu bình thường của tầng ngậm nước;

h_o - chiều sâu mực nước trong giếng;

R - bán kính ảnh hưởng của giếng;

r_o - bán kính giếng;

k - hệ số thấm của đất.

Vì dòng nước chảy đến giếng trong điều kiện tự nhiên và thông thường là chuyển động không ổn định, nên bán kính ảnh hưởng là đại lượng thay đổi.

Để tính toán sơ bộ bán kính ảnh hưởng, có thể lấy bằng[1]:

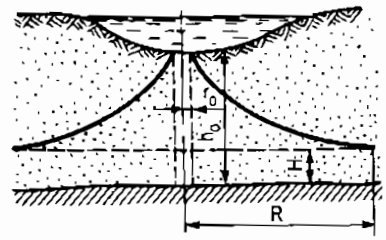
R = 100 ÷ 200m đối với đất hạt nhỏ;

R = 250 ÷ 500m đối với đất hạt trung bình;

R = 700 ÷ 1000m đối với đất hạt lớn.

2. Giếng thu nước (hình 12.8). Lưu lượng của giếng thu nước được xác định theo công thức:

$$Q = \frac{\pi k(h_o^2 - H^2)}{\ln \frac{R}{r_o}} \qquad (12\text{-}20)$$



Hình 12.8

c) Giếng phun hoàn thiện

1. Giếng cấp nước (hình 12.9). Đêbit của giếng được xác định theo công thức:

$$Q = \frac{2\pi ka(H - h_o)}{\ln \frac{R}{r_o}} \qquad 12\text{-}21)$$

trong đó:

k - hệ số thấm;

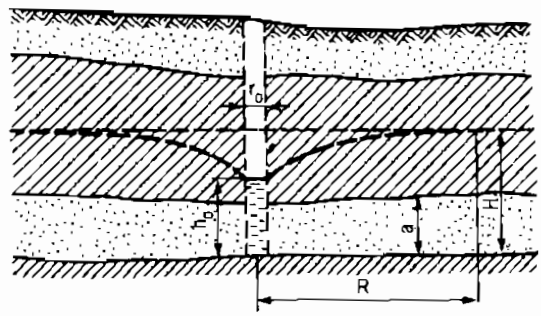
a - chiều dày của tầng ngậm nước;

H - chiều cao đo áp ban đầu;

h_o - chiều sâu mực nước trong giếng;

R - bán kính ảnh hưởng của giếng;

r_o - bán kính giếng.



Hình 12.9

[1] Aravin V. I. và Numerôp X. N. Chuyển động của chất lỏng và chất khí trong môi trường rỗng không biến dạng. NXB Kĩ thuật, 1953.

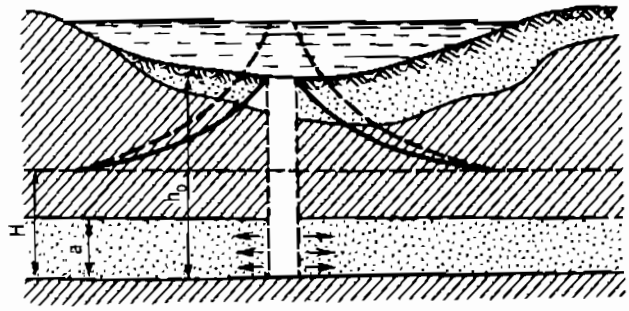
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

V. X. Kôzơlôp đề nghị xác định bán kính ảnh hưởng trên cơ sở các hệ thức thu được qua thí nghiệm hút nước.

2. *Giếng thu nước* (hình 12.10). Công thức để xác định lưu lượng:

$$Q = \frac{2\pi ka(h_o - H)}{\ln \frac{R}{r_o}} \qquad (12\text{-}22)$$



Hình 12.10

d) Giếng đất không hoàn thiện

Giếng cấp nước (hình 12.11). Có thể có hai trường hợp:

1. Khi $H > H_o$, chiều dày tầng ngậm nước H rất lớn và vượt quá chiều sâu của vùng hoạt động H_o (vùng hoạt động là tên gọi của một tầng ngậm nước chịu ảnh hưởng của việc hút nước từ giếng không hoàn thiện);

2. Khi chiều dày của tầng ngậm nước bé hơn vùng hoạt động $H < H_o$.

Chiều sâu của khu hoạt động có thể xác định gần đúng theo bảng 12.4.

Bảng 12.4. Chiều sâu của vùng hoạt động khi hút nước từ giếng không hoàn thiện

s/H_1	0,2	0,3	0,5	0,8
H_o	1,3 H_1	1,5 H_1	1,7 H_1	1,85 H_1

Chính xác hơn, theo công thức của P. I. Sipencô:

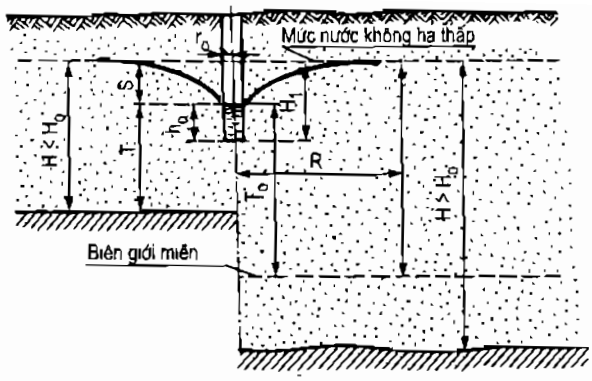
$$2H_o\left[1 - \sqrt[4]{\frac{2(H_o - s) - h_o}{H_o - s}} \cdot \sqrt{\frac{h_o + 0,5r_o}{H_o + s}}\right] = s \qquad (12\text{-}23)$$

Chiều sâu H_o trong công thức này được xác định bằng cách thử dần.

+ Công thức tính Đêbit cho trường hợp $H < H_o$ (theo Phorohâyme) (nửa bên trái hình 12.11).

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 12.11

Đối với giếng, nước chỉ chảy vào qua thành:

$$Q = \frac{\pi k(H^2 - T^2)}{\ln\frac{R}{r_o}} \cdot \sqrt{\frac{h_o}{T}} \sqrt[4]{\frac{2T - h_o}{T}} \qquad (12\text{-}24)$$

Đối với giếng, nước chảy vào đồng thời qua thành và qua đáy:

$$Q = \frac{\pi k(H_o^2 - T^2)}{\ln\frac{R}{r_o}} \cdot \sqrt{\frac{h_o + 0,5r_o}{T}} \sqrt[4]{\frac{2T - h_o}{t}} \qquad (12\text{-}25)$$

trong đó: $T = H - s$.

+ Công thức lưu lượng cho trường hợp $H > H_o$ (nửa bên phải hình 12.11).

Đối với giếng, nước chỉ chảy vào qua thành:

$$Q = \frac{\pi k(H_o^2 - T_o^2)}{\ln\frac{R}{r_o}} \cdot \sqrt{\frac{h_o}{T_o}} \sqrt[4]{\frac{2T_o - h_o}{T_o}} \qquad (12\text{-}26)$$

Đối với giếng, nước chảy vào đồng thời qua thành và qua đáy:

$$Q = \frac{\pi k(H_o^2 - T^2)}{\ln\frac{R}{r_o}} \cdot \sqrt{\frac{h_o + 0,5r_o}{T}} \sqrt[4]{\frac{2T_o - h_o}{T_o}} \qquad (12\text{-}27)$$

trong đó: $T_o = H_o - s$.

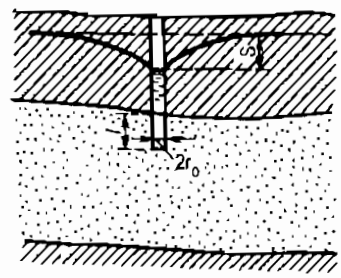
Để xác định đêbit của giếng đất không hoàn thiện mà nước chảy vào đồng thời qua cả thành và cả đáy, kĩ sư Nam Tư là M. Bôrêli đã đề nghị một công thức mới, dùng khi $0,1 < H_1/H < 1,0$:

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$Q = \frac{\pi k(H_1^2 - h_o^2)}{\ln\frac{R}{r_o}} \times \left[1 + \left(0,29 + 10\frac{r_o}{H}\right)\sin 1,8\left(1 - \frac{H_1}{H}\right)\right] \qquad (12\text{-}28)$$

Giếng ống (giếng Abitxin) (hình 12.2) là giếng ống đặt trong tầng đất dày tự chảy. Nhờ tầng ngậm nước dầy nên đêbit của giếng không thay đổi.



Hình 12.12

Công thức tính đêbit:

$$Q = \frac{2\pi ksl}{\ln\frac{2l}{r_o}} \qquad (12\text{-}29)$$

Các kí hiệu ghi trên hình 12.12.

12.4. THIẾT BỊ THOÁT NƯỚC NẰM NGANG

Thiết bị thoát nước nằm ngang[1] dùng để hạ mực nước ngầm với mục đích tiêu nước cho các vùng đầm lầy, để bảo vệ các công trình khỏi tác động của nước ngầm, để đề phòng hiện tượng sụt lở và các hiện tượng khác v.v...

a) Thiết bị thoát nước đơn độc

1. Ống thoát nước đặt trên tầng đất không thấm

Sau khi đã đặt xong ống thoát nước, người ta lấp hào bằng đất cũ hoặc cuội, sỏi có kích thước hạt khác nhau dưới dạng tầng lọc ngược (hình 12.13). Trong trường hợp thứ hai, bản thân hào cũng là một thiết bị thoát nước và được gọi là "màn thấm".

Tính toán ống thoát nước có màn thấm:

Công thức xác định lưu lượng chảy vào ống thoát nước là:

$$q = \frac{k}{L}(H^2 - h_o^2) \qquad (12\text{-}30)$$

trong đó: q - lưu lượng nước chảy vào hai bên ống trên một mét dài;

k - hệ số thấm của đất (m/s);

L - phạm vi ảnh hưởng của vật thoát nước (m);

---

[1] Trong thực tế tiêu nước, ta phân biệt thiết bị thoát nước "nằm ngang" và "thẳng đứng. Loại thứ nhất là một hệ thống ống đặt ở những chiều sâu nhất định và với độ dốc cần thiết, còn loại thứ hai là hệ thống ống đặt thẳng đứng như những giếng thu nước.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

H - chiều dày tầng ngậm nước (m);

h_o - chiều sâu mực nước trong ống thoát nước hoặc độ sâu ống đo áp trên ống thoát nước.

Phạm vi ảnh hưởng của ống thoát nước là hàm số của thời gian, bởi vì khu vực tiêu nước tăng dần theo thời gian.

Khi h_o bé hơn so với H:

$$L = \sqrt{\frac{3ktH}{\beta}} \qquad (12\text{-}31)$$

trong đó:

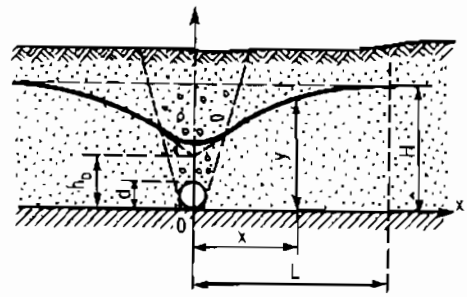
t - thời gian làm việc của ống thoát (s);

β - hệ số cấp nước của đất.

Công thức gần đúng để xác định h_o:

$$h_o = \sqrt{L^2 + H^2} - L$$

Ở đây, nếu $h_o < d$ (đường kính của ống thoát nước hoặc chiều cao vật thoát nước), thì vật thoát nước làm việc không hết mặt cắt; nếu $h_o > d$ - vật thoát nước làm việc với toàn bộ mặt cắt, còn đường bão hòa có dạng như ở hình 12.13.



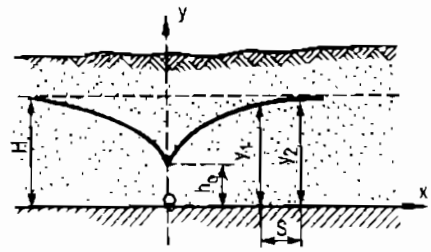
Hình 12.13

Tính toán ống thoát không có màn thấm (hình 12.14).

$$q = \frac{(y_2^2 - y_1^2)}{s} \qquad (12\text{-}32)$$

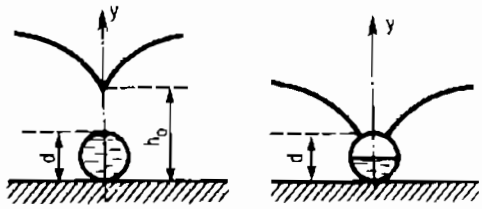
Các kí hiệu như trên hình 12.14

$$h_o = 0{,}22\frac{q}{k} \qquad (12\text{-}33)$$



Hình 12.14

Khi $h_o > d$, chỗ nối của hai nhánh đường bão hòa cao hơn vật thoát nước (hình 12.15a) và vật thoát nước làm việc như ống có áp; khi $h_o < d$ hai nhánh đường bão hòa không có điểm chung và nó cắt vật thoát nước (hình 12.15b), nước chuyển động không áp trong ống.



Hình 12.15

Các tọa độ của đường bão hòa:

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$x = \frac{q}{k} x_r \qquad (12\text{-}34)$$

$$y = \frac{q}{k} y_r \qquad (12\text{-}35)$$

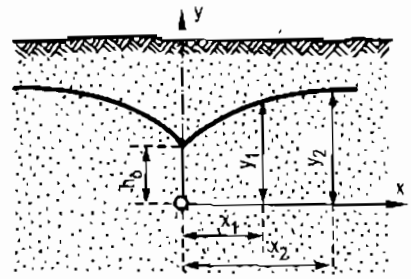
trong đó: x_r và y_r - các trị số dẫn suất của tọa độ khi q/k = 1, chúng lấy từ bảng 12.5.

Bảng 12.5. Các giá trị dẫn suất của tọa độ của đường bão hòa

x_r	0	0,293	0,429	0,582	0,776	0,948	1,162	1,397	1,892	0,282	3,957	5,26	6,75
y_r	0,22	0,62	0,72	0,82	0,92	1,02	1,12	1,22	1,42	1,72	2,02	2,32	2,62

2. *Ống thoát nước đặt trong tầng ngậm nước* (cách giải của E. Đ Khômôpka được V. X. Kôzơlôp biến đổi) (hình 12.16).

Vấn đề được giải quyết bằng phương pháp cơ học chất lỏng.



Hình 12.16

Công thức để xác định lưu lượng:

$$q = 10{,}2kh_o \qquad (12\text{-}36)$$

trong đó:

k - hệ số thấm;

h_o - khoảng cách từ vật thoát nước đến giao điểm của các nhánh của đường bão hòa.

$$h_o = 2{,}78r_o \qquad (12\text{-}37)$$

r_o - bán kính ống thoát nước.

Phương trình đường bão hòa:

$$y_2 - y_1 = 3{,}244h_o \ln\frac{x_2 + 5{,}1h_o}{x_1 + 5{,}1h_o} \qquad (12\text{-}38)$$

trong đó: y_1 và y_2 - tung độ của đường bão hòa ứng với các hoành độ x_1 và x_2.

b) Hệ thống các vật thoát nước nằm ngang

Để hạ nhanh hơn đường bão hòa nước ngầm trong phạm vi của một diện tích nào đấy, ta đặt một hệ thống vật thoát nước nằm ngang. Trong bình diện, các vật đó được đặt theo đường đẳng lượng nước ngầm để tập trung dòng nước ngầm. Độ sâu của nước ngầm cần hạ thấp, gọi là "tiêu chuẩn tiêu nước".

Khi tính toán hệ các vật thoát nước nằm ngang, cần phải xác định độ sâu đặt các ống thoát nước để cho điểm cao nhất của đường bão hòa giữa hai vật thoát nước

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

nằm thấp hơn "tiêu chuẩn tiêu nước"; ở đây, chiều sâu đặt ống thoát nước phụ thuộc vào địa hình, vào hệ số thấm và vào khoảng cách giữa hai ống thoát nước. Đại lượng cần tính toán là lưu lượng dòng thấm chảy xuống ống thoát nước và hình dạng của đường bão hòa.

Dưới đây sẽ khảo sát hai trường hợp thiết bị thoát nước ngầm với giả thiết không có nước thấm xuống từ mặt đất (không có sự thấm của nước ở mặt đất).

1. Tầng ngậm nước có cường độ có hạn và vật thoát nước đặt trên tầng không thấm (theo công trình của V. X. Kôzolôp)[1]

- Đối với hệ thống thoát nước được thiết kế lại

Phương trình đường bão hòa:

$$y_1^2 = \frac{(h^2 - h_o^2)x^2}{s^2} + \frac{2(h^2 - h_o^2)x}{s} + h_o^2 \qquad (12\text{-}39)$$

trong đó: x và y - các tọa độ của các điểm trên đường bão hòa;

s - một nửa khoảng cách giữa các vật thoát nước;

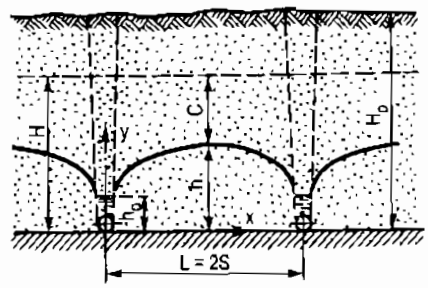
h - chiều sâu mực nước tại điểm nằm giữa hai vật thoát nước kể từ tầng không thấm;

h_o - chiều sâu mực nước trên vật thoát nước.

Vì đường bão hòa liên tục bị hạ thấp do không có dòng nước ngầm bổ sung thêm bằng nước thấm, nên lưu lượng chảy đến các ống thoát sẽ giảm dần theo thời gian.

Công thức chiều cao mực nước tại trung điểm giữa các ống thoát nước là:

$$h = \frac{s^2\beta H}{1,27ktH - 0,68s^2\beta} \qquad (12\text{-}40)$$



Hình 12.17

trong đó:

β - hệ số thoát nước của đất xác định bằng thí nghiệm:

t - thời gian làm việc của ống thoát nước;

k - hệ số thấm;

H và s xem trên hình 12.17.

Công thức để tính khoảng cách giữa các vật thoát nước:

$$L = 2s = 2,25\sqrt{\frac{khHt}{\beta(H - 0,68h)}} \qquad (12\text{-}41)$$

Công thức lưu lượng riêng của dòng chảy vào ống thoát nước:

---

[1] Kôzolôp V. X. Tính toán các công trình thoát, NXB Xây dựng, 1940.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$q = \frac{2kH^2}{s\left(0,68 + 1,27\frac{ktH}{s^2\beta}\right)^2} \qquad (12\text{-}42)$$

Thời gian làm việc t của vật thoát nước trong các công thức (12-43) và (12-44) thường được quyết định trong những yêu cầu kĩ thuật về tốc độ cần đạt tới "tiêu chuẩn tiêu nước".

- Đối với hệ thống thoát nước cũ (đã dùng), nếu cần phải hạ mực nước ở điểm giữa hai vật thoát nước cạnh nhau từ chiều sâu H đến chiều sâu h trong thời gian t, thì công thức tính toán có dạng:

$$h = \frac{H}{1 + 1,27 \cdot \frac{ktH}{s^2\beta}} \qquad (12\text{-}43)$$

$$L = 2s = 2,25\sqrt{\frac{kthH}{\beta(H-h)}} \qquad (12\text{-}44)$$

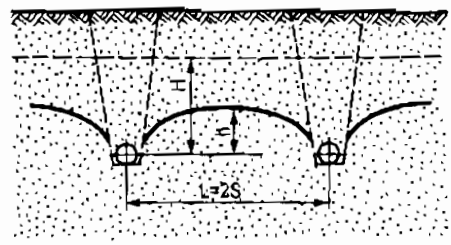
$$q = \frac{2kH^2}{s\left(1 + 1,27\frac{ktH}{s^2\beta}\right)} \qquad (12\text{-}45)$$

2. *Tầng ngậm nước có cường độ lớn, ống thoát nước đặt trong tầng ngậm nước* (theo công trình của V. X. Kôzolôp)

- Đối với hệ thoát nước được thiết kế lại (sự tiêu nước bắt đầu từ mực nước ngầm chưa giảm) (hình 12.18).

Công thức lưu lượng:

$$q = \frac{2kH^2B}{s\left(0,68 + 1,27\frac{ktH}{s^2\beta}\right)} \qquad (12\text{-}46)$$



Hình 12.18

trong đó: B - hệ số (lớn hơn một):

$$B = 1 + 5,5\sqrt{\frac{H_1 - H}{H_1}\frac{r_o}{H}\frac{c}{H}} \qquad (12\text{-}47)$$

trong đó: H_1 - chiều dày của toàn bộ tầng ngậm nước;

H - chiều sâu đặt vật thoát nước;

r_o - bán kính ống thoát nước;

c - độ hạ thấp mực nước ở phía trên đường viền ống thoát nước.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Các kí hiệu khác cũng giống như ở trường hợp trên.

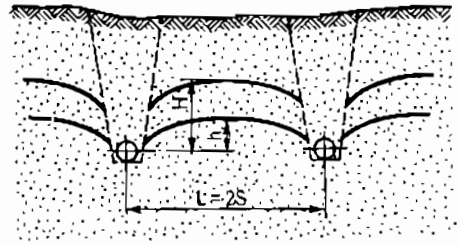
Khoảng cách giữa các vật thoát nước:

$$L = 2s = 2,25\sqrt{\frac{ktHh\sqrt{B}}{\beta(H-0,68h)}} \qquad (12\text{-}48)$$

trong đó: $h = H_o - c$ (H_o - chiều sâu đặt ống thoát nước tính từ mặt đất);

c - tiêu chuẩn tiêu nước.

- Đối với hệ thoát nước cũ (đã khai thác) (tiêu nước bắt đầu từ mực nước đã giảm được phần nào cho đến mực nước mới thấp hơn, hình 12.19).



Hình 12.19

Công thức lưu lượng:

$$q = \frac{2kH^2B}{s\left(1+1,27\frac{ktH}{\beta.s^2}\right)^2} \qquad (12\text{-}49)$$

Khoảng cách giữa các ống thoát nước:

$$L = 2s = 2,25\sqrt{\frac{ktHh\sqrt{B}}{\beta(H-h)}} \qquad (12\text{-}50)$$

Hệ số B trong các công thức (12-48) ÷ (12-50) được xác định theo công thức (12-47), còn thời gian t thường được cho trước và là khoảng thời gian để hạ thấp mực nước được một độ sâu (H – h).

12.5. DÒNG CHẢY ĐẾN HỐ MÓNG TRONG THI CÔNG XÂY DỰNG

a) Dòng chảy đến hố móng được ngăn bằng các bản cọc của đê quây đặt trên nền thấm sâu vô hạn (hình 12.20)

1. Giải bằng lí thuyết hàm số phức

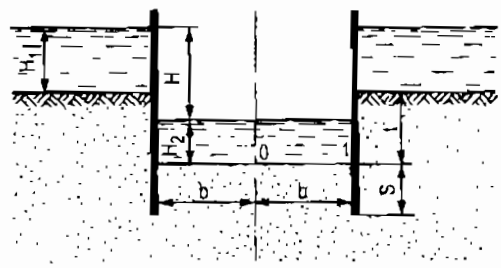
Lưu lượng thấm đơn vị (trên 1m dài của hố móng) được xác định theo công thức:

$$q = kHq_r \qquad (12\text{-}51)$$

trong đó:

k - hệ số thấm;

H - cột nước tác dụng;



Hình 12.20

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

q_r - lưu lượng dẫn suất (khi k = 1 và H = 1);

$$q_r = \frac{2K}{K'} \qquad (12\text{-}52)$$

K và K' - tích phân êliptic loại một với các môđun λ và $\lambda' = \sqrt{1-\lambda^2}$ (trong đó: $\lambda = f(s, t)$.

Công thức để xác định vận tốc ra của nước:

$$v = \frac{kHv_r}{b} \qquad (12\text{-}53)$$

trong đó: v_r - vận tốc dẫn suất.

Lưu lượng dẫn suất q_r và vận tốc dẫn suất v_r (theo V. X. Kôzơlôp) được xác định theo đồ thị trên hình 12.21 và 12.22 cho các phạm vi:

$$\frac{s}{b} = 0,1 \div 0,2 \text{ và } \frac{t}{b} = 0,00 \div 1,00$$

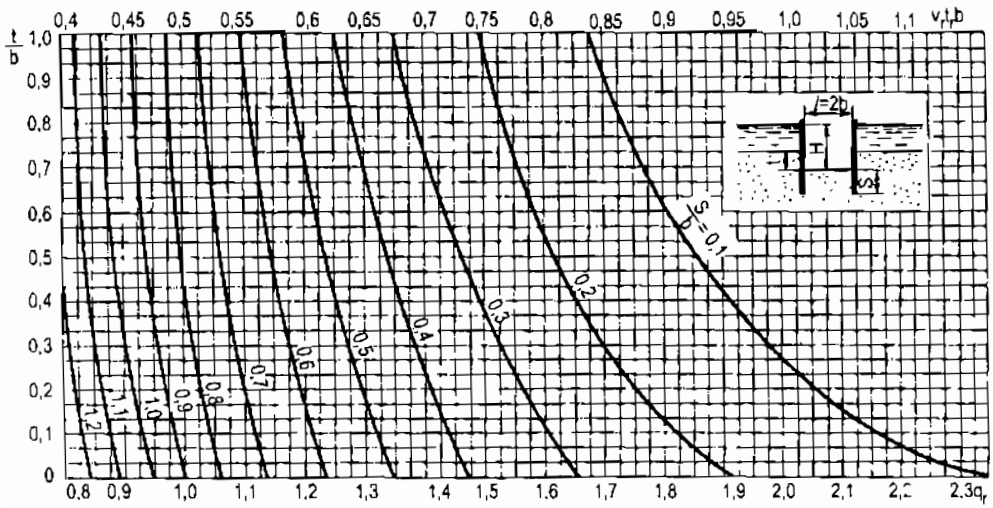
trong đó: b - khoảng cách từ bản cọc đến trục đối xứng.

Vận tốc dẫn suất lớn nhất v_{rmax} sẽ xảy ra tại điểm 1 (hình 12.20), còn nhỏ nhất - trên trục đối xứng tại điểm 0.

Vận tốc trung bình: $v_{rtb} = \frac{q_r}{2}$

vì $l = 2b = 2$ khi $b = 1$.

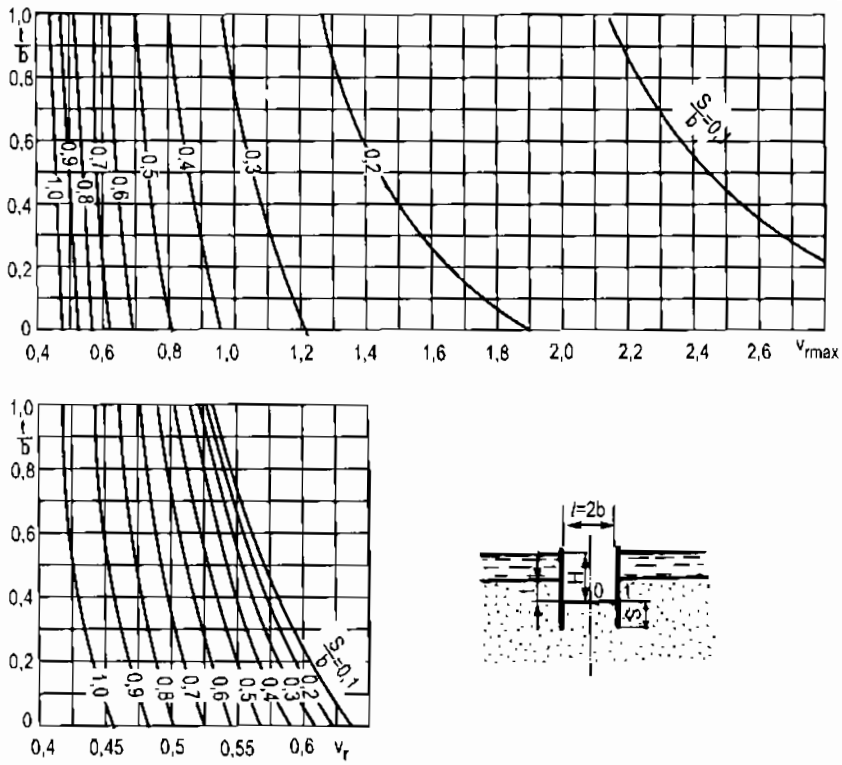
Vì vận tốc lớn nhất là vận tốc nguy hiểm nhất (về mặt xói các hạt đất), nên việc tính toán có thể chỉ quy về xác định v_{rmax}.



Hình 12.21

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 12.22

Thí dụ: Xác định lưu lượng nước qua đáy đê quây có bản cọc trên 1m dài của đê và vận tốc ra của dòng thấm, nếu cho biết khoảng cách giữa các bản cọc $l = 2b = 6m$. Độ sâu hố đào t = 1,2m; chiều dài bản cọc dưới đáy hố đào s = 3m; chiều sâu mực nước ngoài đê quây $H_1 = 3m$, còn trong đê quây $H_2 = 0$; hệ số thấm k = 0,005 m/s; độ rỗng tác dụng n = 0,28.

Giải:

1- Để sử dụng các đồ thị của V. X. Kôzolôp ta xác định sơ bộ:

$$t/b = 1,2/3 = 0,4; \qquad s/b = 3/3 = 1,0$$

2- Theo đồ thị hình 12.21 ta xác định $q_r = 0,895$. Vì $H' = H_1 + t - H_2 = 300 + 1,20 - 0 = 4,2m$, nên theo công thức (12-51) ta xác định được lưu lượng:

$$q = kHq_r = 0,0005.4,2.0,895 = 0,00188\ m^3/s \text{ trên 1 mét dài}$$

3- Nếu chiều dài của hố móng của đê quây L, thì lưu lượng toàn phần của dòng nước chảy đến hố móng sẽ là $Q = q/$.

4. Tiếp theo, ta xác định vận tốc thấm vào hố móng. Cũng theo đồ thị đó ta tìm $v_{rtb} = 0,443$; còn theo đồ thị hình 12.22, $v_{rmax} = 0,488$ và $v_{rmin} = 0,432$.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

5- Theo công thức (12-53):

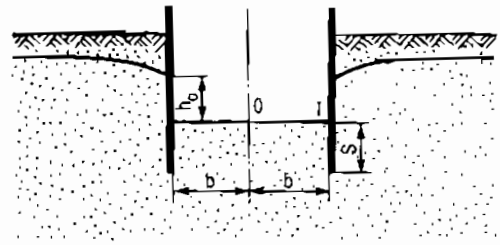
$$v_{rmin} = \frac{kHv_{rmin}}{b} = \frac{0,0005.4,2.0,488}{3,0} = 0,00034 \text{ m/s}$$

$$V_{ltb} = 0,00031 \text{ m/s và } V_{min} = 0,00030 \text{ m/s}$$

6- Cuối cùng: v_{rmax} trong lỗ rỗng = $\frac{v_{rmax}}{n} = \frac{0,00034}{0,28} = 0,00121$ m/s.

2. Cách giải gần đúng bằng biến hình bảo giác[1] (hình 12.28)

Phương pháp này dựa vào giả thiết cơ bản là đường bão hòa lấy theo đường cột nước đo áp, còn đường dòng lấy nằm ngang.



Hình 12.23

Công thức để xác định lưu lượng riêng:

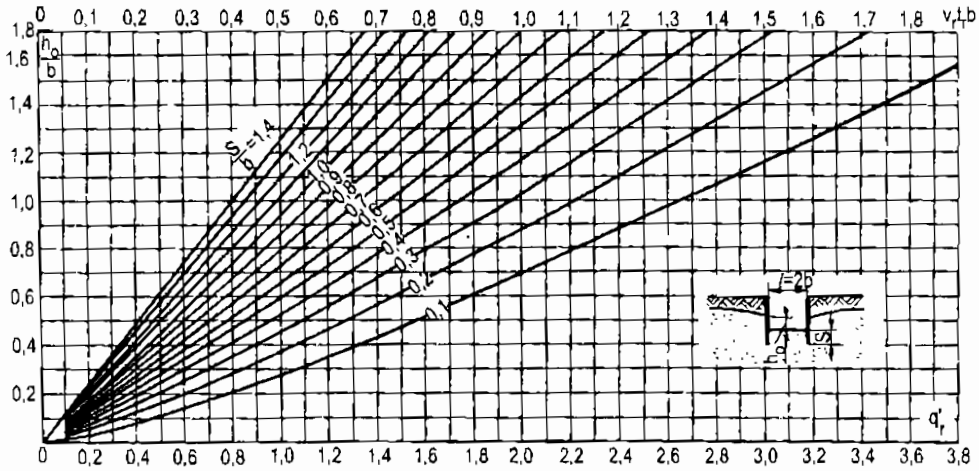
$$q = kq_r = kbq'_r \qquad (12\text{-}54)$$

trong đó:

k - hệ số thấm;

b - nửa chiều rộng hố móng;

q'_r - lưu lượng dẫn suất xác định theo đồ thị trên hình 12.24.

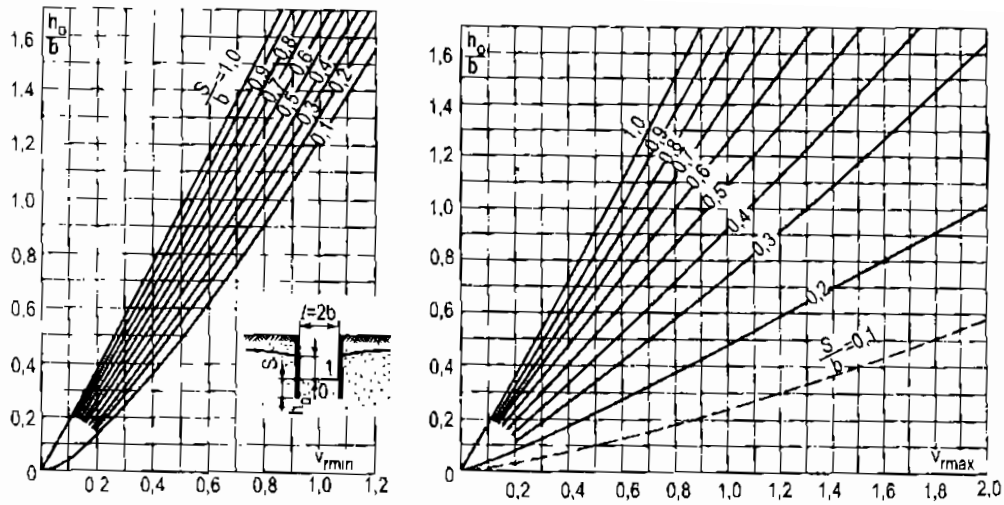


Hình 12.24

[1] Kozolôp V. X. Tính toán các công trình thoát nước, NXBXD, 1940.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 12.25

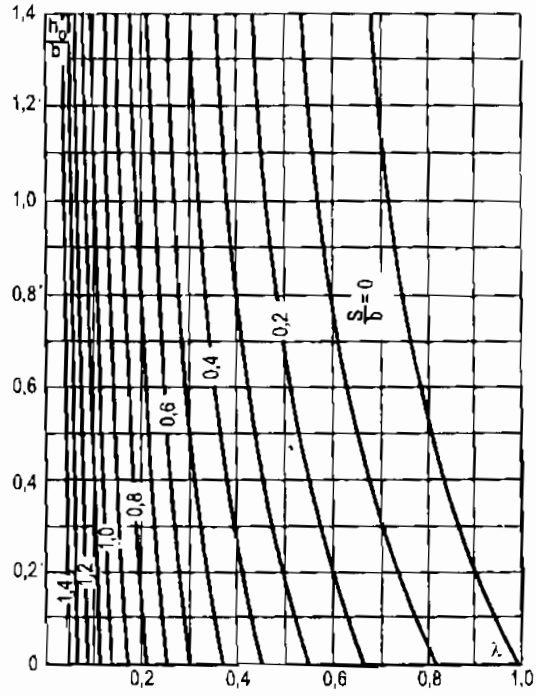
Công thức về vận tốc ra của nước:

$$v = \frac{kv_r}{b} \qquad (12\text{-}55)$$

trong đó: v_r - vận tốc dẫn suất xác định theo các đồ thị hình 12.25.

Để vẽ đường bão hòa (đường cột nước đo áp) ta dùng phương trình gần đúng (với điều kiện $\frac{\pi x}{2Dbk} > 10$).

$$y = \frac{bq'_r}{\pi} ch^{-1}\left(\frac{\pi x}{2Dbk}\right) \qquad (12\text{-}56)$$



Hình 12.26

trong đó:

b - một nửa chiều rộng của hố móng;

k - hệ số thấm;

q_r - lưu lượng riêng dẫn suất của dòng thấm;

ch - hàm côsin hypecbôlic (lấy theo bảng):

$$D = K' + h_0K \qquad (12\text{-}57)$$

trong đó:

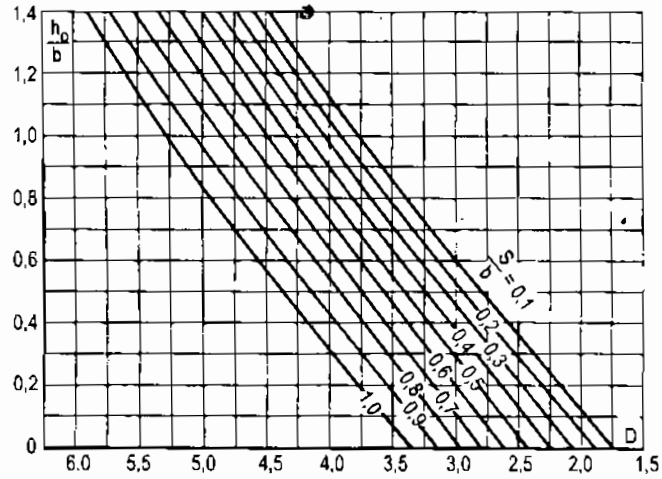
K và K' - tích phân êliptic toàn phần loại một với các môđun;

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

λ và $\lambda' = \sqrt{1+\lambda^2}$; λ phụ thuộc vào hệ thức giữa các yếu tố hình học $\lambda = f(s, t)$.

λ có thể xác định theo đồ thị hình 12.26, còn D - theo hình 12.27.



Hình 12.27

Thí dụ: Xác định lưu lượng qua đáy hào và vận tốc thấm ra của nước (vách hào được ngăn bằng các hàng bản cọc). Khoảng cách giữa các hàng bản cọc $l = 2b = 3m$; mực nước cao hơn đáy hào $h_o = 1,2m$, chiều dài của bản cọc đóng sâu dưới đáy hào $s = 1,5m$; hệ số thấm $k = 0,0008$ m/s.

Giải:

1- Ta xác định: $\frac{h_o}{b} = \frac{h_o}{l/2} = 0,8$ và $\frac{s}{b} = 1,0$

2- Sau đó từ đồ thị 12.24 ta có $q'_r = 0,86$ còn $q = kbq'_r = 0,0008.1,5.0,86 = 0,001032$ m^3/s.m = 1,032 *l*/s trên 1m dài.

3- Từ đồ thị hình 12.25 theo $h_o/b = 0,8$ và $s/b = 1$, ta tìm $v_{r\,max} = 0,44$; $v_{r\,min} = 0,42$ và $v_{rtb} = 0,43$. Do đó $v_{max} = kv_{r\,max} = 0,000235$ m/s; $v_{min} = kv_{r\,min} = 0,000224$ m/s và $v_{tb} = 0,000229$ m/s.

4. Để vẽ đường bão hòa, ta sơ bộ xác định giá trị D theo đồ thị trên 12.27; D = 4,94.

5. Sau khi thay giá trị của các số hạng vào phương trình (12-56), đối với trường hợp đang xét, phương trình đường cong bão hòa là: $y = 0,41ch^{-1}(2,018x)$.

Ta dùng phương trình này để tính các tọa độ của nhánh phải của đường cong bão hòa. Kết quả tính toán ghi vào bảng sau:

x	1,5	5	10	20	50	100
−y	1,2	1,23	1,52	1,80	2,18	2,46

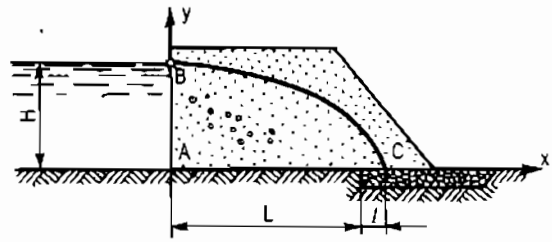
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

b) Tính toán vật thoát nước của đê quây bằng đất (vây quanh hố móng) (hình 12.28)

Cách giải bằng biến hình bảo giác (V. X. Kôzơlôp).

Bài toán gồm xác định lưu lượng thấm trên 1 mét dài của đê quây, chiều dài làm việc của phần học và vẽ đường bão hòa.



Hình 12.28

Công thức xác định lưu lượng thấm:

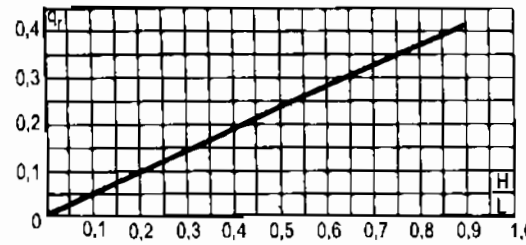
$$q = kHq_r \qquad (12\text{-}58)$$

trong đó:

k - hệ số thấm;

H - cột nước;

q_r - lưu lượng dẫn suất.



Hình 12.29

Giá trị q_r cho dưới dạng đồ thị (hình 12.29) tuỳ thuộc vào tỉ số H/L. Trong trường hợp đại lượng H/L tương đối nhỏ có thể xác định lưu lượng bằng công thức gần đúng:

$$q = k(\sqrt{L^2 + H^2} - L) \qquad (12\text{-}59)$$

Công thức tính chiều dài làm việc của bộ phận lọc:

$$l = \frac{q}{2k} \qquad (12\text{-}60)$$

Công thức để vẽ đường cong bão hoà:

$$y = H\sqrt{1 - \frac{x}{L + l}} \qquad (12\text{-}61)$$

Vị trí của các trục tọa độ chỉ trên hình 12.28 (gốc tọa độ tại điểm A là nền chịu áp của đê quây).

Thí dụ: Cho H = 3m; L = 15m; k = 0,0004 m/s.

Giải:

1- Theo tỉ số H/L = 0,2 ta tìm đọc đồ thị (hình 12.29), q_r = 0,11, còn theo công thức (12-58) q = 0,0004.3.0,11 = 0,000132 m^3/s.m = 0,132 *l*/s.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

2- Chiều dài làm việc của bộ phận lọc

$$l = \frac{0,000132}{2.0,0004} = 0,152\text{m}$$

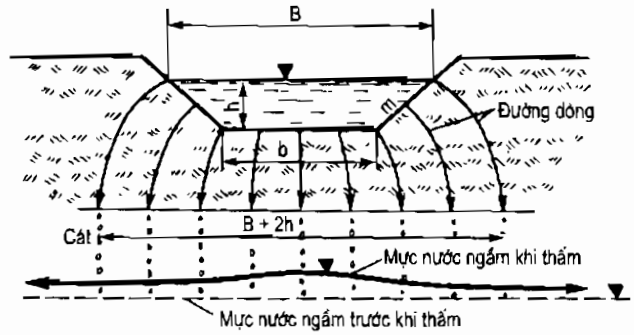
3- Theo phương trình (12-61) ta tính được tọa độ các điểm của đường cong bão hòa.

Cho x các giá trị trong khoảng $0 < x < l + L$, tức là $0 < x < 15,152$m ta được giá trị y. Kết quả tính toán ghi vào bảng sau:

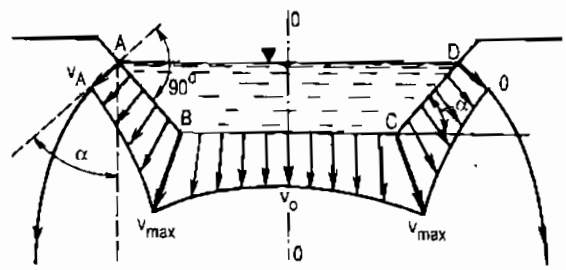
x	0,0	5,0	8,0	10,0	12,0	14,0	15,152
y	3	2,46	2,06	1,75	1,37	0,33	0

12.6. THẤM TỪ KÊNH

Tổn thất chính của lưu lượng trong kênh là tổn thất về thấm. Giá trị của tổn thất này phụ thuộc vào hàng loạt yếu tố khác nhau, trong đó yếu tố chính là kích thước kênh, độ thấm nước của đất và độ sâu của mức nước ngầm. Trong quá trình làm việc, tổn thất giảm dần theo thời gian, vì những lắng đọng ở đáy kênh mà trong một số trường hợp sự lắng đọng đó trở thành yếu tố quyết định.



Hình 12.30



Hình 12.31

Khi mức nước ngầm ở sâu, hiện tượng thấm sẽ xảy ra theo sơ đồ vẽ trên hình 12.30 (theo công trình của V. V. Vêdecnhicôp đối với trường hợp bài toán phẳng).

Biểu đồ vận tốc thấm từ kênh hình thang có dạng như trên hình 12.31. Trên trục kênh, vận tốc thấm v_o bé hơn vận tốc tại các điểm góc B và C.

Vận tốc thấm tại điểm A và D có hướng thẳng góc với bờ kênh và về trị số bằng:

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$v_A = k\cos\alpha \qquad (12\text{-}62)$$

trong đó:

α - góc nghiêng của mái dốc đối với mặt nằm ngang;

k - hệ số thấm.

Trị số lưu lượng thấm được xác định theo các công thức của N. N. Pavlôpxki:

$$Q = kL(B + 2h) \quad (m^3/s) \qquad (12\text{-}63)$$

trong đó:

k - hệ số thấm (m/s);

L - chiều dài kênh (m);

h - chiều sâu kênh (m).

Ghi chú: (B + 2h) là chiều rộng của dòng thấm ở độ sâu lớn, tức là tại những chỗ mà những đường dòng ngoài cùng gần như song song với nhau.

Đối với trường hợp khi chiều dài kênh tính bằng kilômét và hệ số thấm k tính bằng m/ngày-đêm, ta dùng công thức:

$$Q = 0,0116kL(B + 2h) \quad (m^3/s) \qquad (12\text{-}64)$$

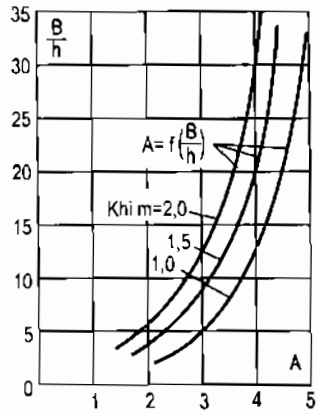
V. V. Vêđecnhicôp đề nghị thay (12-64) và (12-63) bằng:

$$Q = kL(B + Ah) \quad (m^3/s) \qquad (12\text{-}65)$$

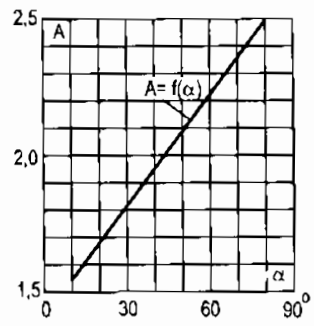
trong đó:

A - hai lần tỉ số tích phân êliptic toàn phần loại một. Đối với mặt cắt hình thang A là hàm của tỉ số B/h, tức là A = f(B/h). Giá trị của A được xác định theo đồ thị của V. V. Vêđecnhicôp (hình 12.32);

k, L, B và h cũng là các kí hiệu như trong công thức (12-63).



Hình 12.32



Hình 12.33

https://tieulun.hopto.org

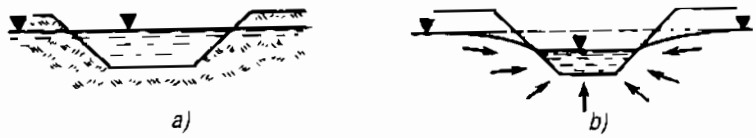
www.thuvien247.net

Đối với kênh mặt cắt hình thang, hệ số A theo V. V. Vêđecnhicôp có giá trị khác, cụ thể là $A \approx 2{,}123\frac{\alpha}{\pi} - 1{,}47$ hoặc $A = f(\alpha)$. Các giá trị của A đối với mặt cắt tam giác được xác định theo đồ thị của V. V. Vêđecnhicôp (hình 12.33).

Khi đo chiều dài kênh L bằng km, còn k bằng m/ngày-đêm, thì công thức (12-65) có dạng:

$$Q = 0{,}0116kL(B + Ah) \qquad (12\text{-}66)$$

Ghi chú: Nếu cao trình mức nước ngầm bằng cao trình mức nước trong kênh (hình 12.34a) thì lưu lượng thấm Q = 0. Khi mức nước ngầm cao hơn (hình 12.34b), lưu lượng trong kênh sẽ tăng lên.



Hình 12.34

A. N. Côtchiacôp bằng các kết quả quan sát các kênh đang khai thác (nhất là kênh tưới) đã thấy rằng tổn thất thấm tính theo phần trăm lưu lượng của kênh sẽ giảm dần khi lưu lượng tăng. Giá trị các tổn thất đó ghi trong bảng 12.6.

Bảng 12.6. Trị số tổn thất do thấm trong kênh theo số liệu của A. N. Cốtchiacôp

Lưu lượng của kênh (m^3/s)	Tổn thất thấm trên 1km kênh (%)	Lưu lượng của kênh (m^3/s)	Tổn thất thấm trên 1km kênh (%)
0,5 - 1,0	6 - 4,0	10 - 20	0,6 - 0,5
1,0 - 1,5	4,5 - 3,0	20 - 50	0,5 - 0,2
1,5 - 2,0	3,0 - 2,50	50 - 100	0,20 - 0,15
2,0 - 3,0	2,5 - 1,8	100 - 200	0,15 - 0,05
3,0 - 5,0	1,8 - 1,10	200 - 300	0,05 - 0,02
5 - 10	1,10 - 0,60		

Đối với kênh mặt cắt hình thang, M. X. Vưzơgô đề nghị dùng công thức, mà nó sẽ trùng với công thức của A. N. Côtchiacôp trong trường hợp không kể đến sức hút mao dẫn:

$$Q = kL\chi \quad (m^3/s) \qquad (12\text{-}67)$$

trong đó: k - hệ số thấm (m/s);
L - chiều dài kênh (m);
χ - chu vi ướt (m);
Q - lưu lượng thấm từ kênh trên đoạn có chiều dài L (m), (m^3/s).

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Trong một số trường hợp cần phải tính đến sức hút mao dẫn. Khi đó lưu lượng thấm, theo chỉ dẫn của A. N. Côtchiacôp, nên xác định theo công thức:

$$Q = kL(b + \nu 2h(\sqrt{1+m^2})$$

hoặc, nếu hệ số thấm tính bằng m/ngày-đêm:

$$Q = 0,0116kL(b + \nu\sqrt{1+m^2})$$

Hệ số ν trong công thức của A. N. Côtchiacôp dùng để xét ảnh hưởng của sức hút mao dẫn, theo A. N. Cốtchiacôp ν = 1,1 ÷ 1,4. A. N. Côtchiacôp còn chỉ rõ khả năng biến đổi công thức của ông và do đó cả công thức của M. X. Vưzơgô về dạng:

$$Q_{tb} = \sigma Q^{\psi}$$

trong đó: σ - hệ số phụ thuộc vào đặc tính của đất;

Q - lưu lượng kênh;

ψ - chỉ số mũ lấy bằng 0,5.

M. X. Vưzơgô đề nghị lấy giá trị σ như sau:

Đối với đất thấm nhiều: σ = 0,03;

Đối với đất thấm trung bình: σ = 0,02;

Đối với đất thấm ít: σ = 0,01.

Công thức cuối cùng có thể dùng để tính toán gần đúng.

12.7. THẤM QUA ĐẬP ĐẤT

Bài toán về nước thấm qua đập đất, nói chung là bài toán không gian mà lời giải cho đến nay vẫn chưa tìm được. Khi đập có chiều dài lớn, có thể xem như bài toán phẳng.

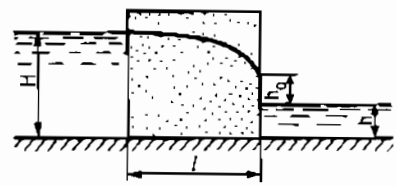
Đã hình thành hai phương pháp giải: thuỷ lực và cơ học chất lỏng. Thông thường thì các trường hợp thực tế quan trọng nhất đều được giải bằng phương pháp thuỷ lực.

Trong các sơ đồ tính toán sẽ trình bày dưới đây đều giả thiết đất đắp thân đập và đất nền đều là đồng nhất.

a) Đê quây trên nền không thấm (hình 12.35)

Lưu lượng thấm đơn vị được xác định bằng công thức Đuypuy[1]:

$$q = \frac{k(H^2 - h^2)}{2L}$$



Hình 12.35

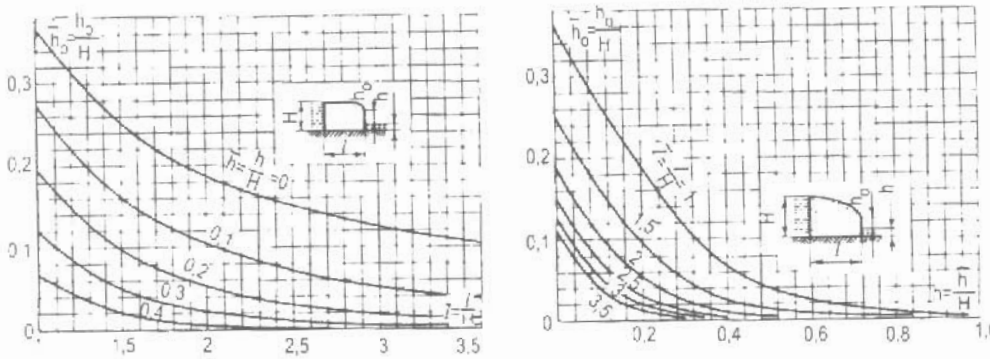
[1] Tsacnưi N. A. bằng lí thuyết đã chứng minh là dùng công thức Đuypuy để tính lưu lượng qua đê quây sẽ cho kết quả chính xác ("Báo cáo của VHLKH Liên Xô", 1951, tập XXIX. N°6).

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Giá trị chính xác của chiều cao chảy ra mái dốc hạ lưu h_o (hình 12.35) có thể tìm được theo phương pháp P. Ya. Pôlubarinôva - Côtsina[2]. Bà cũng là tác giả của phương pháp gần đúng vẽ đường bão hòa.

Trị số của chiều cao tương đối chảy ra mái dốc ha lưu $\bar{h}_o = h_o/H_1$ được xác định theo các đồ thị trên hình 12.36 theo các trị số tương đối $\bar{h} = h/H$ và $\bar{l} = l/H$ tức là $h_o = H(\bar{h}_o)$



Hình 12.36

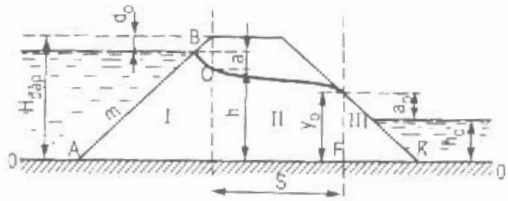
Trong trường hợp ở hạ lưu không có nước (h = 0), đối với đê quây có chiều rộng $l \geq H$, với độ chính xác không cao lắm, có thể xác định chiều cao chảy ra mái dốc hạ lưu theo công thức:

$$h_o \approx \frac{q}{1,35k} \qquad (12\text{-}68)$$

b) Đập đồng chất mặt cắt hình thang trên nền không thấm

Hệ phương trình N. N. Pavlôpxki

Đem chia khu vực thấm thành ba phần (hình 12.37): phần thượng lưu ABCE, phần hạ lưu DFK và phần giữa ECDF.



Hình 12.37

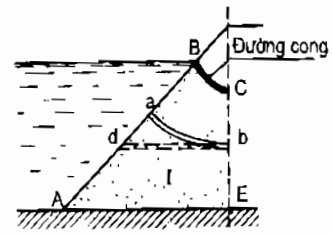
[2] Pôlubarinôva - Côtsina P. Ya. Một số bài toán về chuyển động phẳng của nước ngấm. NXB VHLKH Liên Xô, 1942.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Trong giới hạn của phần thượng lưu (hình 12.38) ta thay chuyển động của dòng nguyên tố theo đường cong bằng chuyển động theo đường thẳng nằm ngang ab. Dùng định luật thấm, ta tìm được lưu lượng thấm theo các công thức:

$$q = \frac{ka}{m}\ln\frac{d_o + a + h}{d_o + a} = \frac{ka}{m}\ln\frac{H_d}{H_d - h} \qquad (12\text{-}69)$$



Hình 12.38

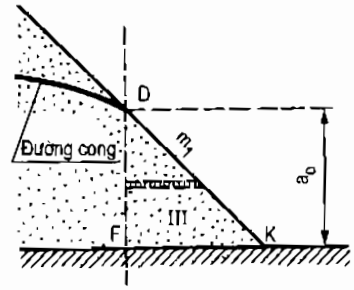
trong đó: k - hệ số thấm của đất thân đập;

m - hệ số mái dốc thượng lưu;

các kí hiệu còn lại ghi trên hình 12.37.

Đối với phần hạ lưu, cũng giống như đối với phần thượng lưu, lấy đường dòng tính toán nằm ngang, ta được lưu lượng thấm toàn phần khi $h_o = 0$ (hình 12.39) theo công thức:

$$q = \frac{ka_o}{m_1} \qquad (12\text{-}70)$$



Hình 12.39

trong đó:

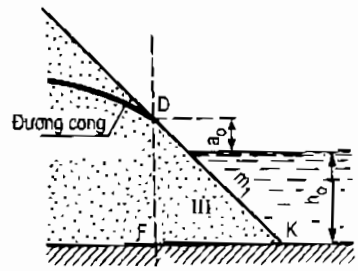
k - hệ số thấm;

m - hệ số mái dốc hạ lưu;

a_o - chiều cao (tính từ nền đập) của điểm mà tại đó dòng thấm chảy ra trên mái hạ lưu.

Khi $h_o > 0$ (hình 2.40):

$$q = \frac{ka_o}{m_1}\left(1 + \ln\frac{a_o + h}{a_o}\right) \qquad (12\text{-}71)$$



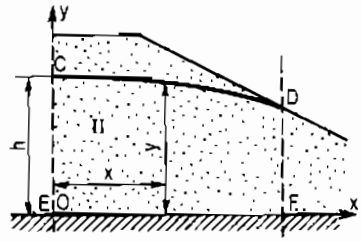
Hình 12.40

Đối với phần giữa ta lấy đường bão hòa là đường cong giống như trong trường hợp chuyển động không đều của nước ngầm khi tầng không thấm có độ dốc bằng không (hình 12.41).

Phương trình đường bão hòa:

$$\frac{2q}{k}x = h^2 - y^2 \qquad (12\text{-}72)$$

trong đó: q - lưu lượng thấm được xác định theo phương trình (12-70) và (12-71), các kí hiệu còn lại như trên hình 12.41.



Hình 12.41

Các công thức (12-69) ÷ (12-71) chứa bốn trị số chưa biết là h, a_o, s, q. Có thể viết phương trình thứ tư còn thiếu bằng các điều kiện hình học. Muốn có lời giải đầy đủ cho bài toán, cần phải giải hệ phương trình thấm sau đây (đối với đập đất đồng nhất).

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Khi $h_o > 0$:

$$\left.\begin{aligned} \frac{q}{k} &= \frac{H_d - d_o - h}{m} \ln \frac{H_d}{H_d - h} \\ \frac{q}{k} &= \frac{h^2 - (a_o + h_o)^2}{2s} \\ \frac{q}{k} &= \frac{a_o}{m_1}\left(1 + \ln \frac{a_o + h_o}{h_o}\right) \\ s &= b + m_1\left[H_d - (a_o + h_o)\right] \end{aligned}\right\} \quad (12\text{-}73)$$

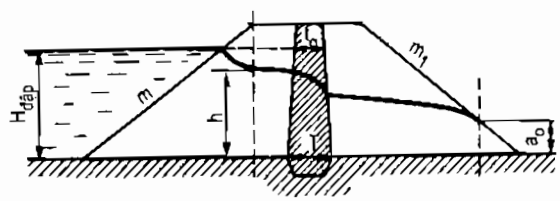
Khi $h_o = 0$:

$$\left.\begin{aligned} \frac{q}{k} &= \frac{H_d - d_o - h}{m} \cdot \ln \frac{H_d}{H_d - h} \\ \frac{q}{k} &= \frac{h^2 - a_o^2}{2s} \\ \frac{q}{k} &= \frac{a_o}{m} \\ s &= b + m_1(H_d - a_o) \end{aligned}\right\} \quad (12\text{-}74)$$

N. N. Pavlôpxki đã đưa ra các phương pháp tiện lợi nhất để giải hệ phương trình ấy trong thực tế. Muốn đơn giản hơn nữa có thể dùng các đồ thị, bảng và biểu đồ do R. R. Tsugaep dựa vào nhiều lời giải giải tích mà lập nên.

c) Đập có lõi giữa

Hệ số thấm của đất làm lõi đập thường có trị số nhỏ hơn hệ số thấm của đất thân đập. Do đó đường bão hòa trong đoạn dày của lõi có trị số gradien thủy lực lớn hơn gradien thủy lực của phần còn lại của khu giữa (hình 12.42).



Hình 12.42

Để vẽ đường bão hòa và xác định lưu lượng thấm trong trường hợp đang xét, ta thay đất làm lõi giữa bằng đất có hệ số thấm giống đất thân đập. Sự thay thế này trong tính toán có nghĩa là đổi chiều dày thật của lõi giữa thành một chiều dày khác, mà tổn thất về thấm vẫn không đổi. Chiều dày mới này do N. N. Pavlôpxki đưa ra để đơn giản hóa tính toán và được gọi là độ dày đẳng trị của dòng thấm. Sau khi thay lõi bằng chiều dày đẳng trị, chúng ta có một đập mới mà mặt cắt đập rộng hơn, nhưng là đập đồng chất mà ta có thể tính toán được theo các phương pháp như

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

đã trình bày ở trên. Sau khi vẽ được đường bão hòa đối với đập đồng chất mới, bằng phương pháp đồ thị thuần túy, bằng cách thay ngược độ dày đẳng trị bằng độ dày thực của lõi, ta có thể vẽ được đường bão hòa thật cho đập có lõi giữa.

Các công thức tính chiều dày đẳng trị

1. Đối với đập có lõi chữ nhật với độ dày t (hình 12.43) thì

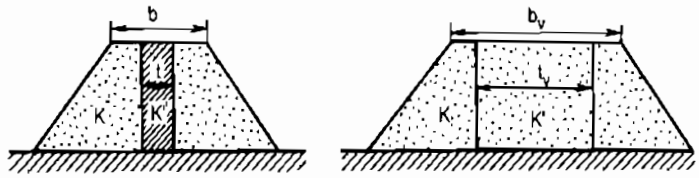
$$t_v = \delta.t = \frac{k}{k'}t \qquad (12\text{-}75)$$

trong đó: t_v - chiều dày đẳng trị;

t - chiều dày của lõi;

k - hệ số thấm của đất đắp đập;

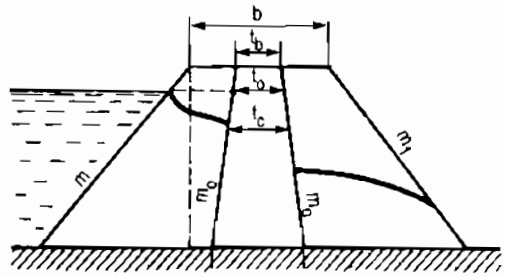
k' - hệ số thấm của đất lõi.



Hình 12.43

2. Đối với đập có lõi hình thang (hình 12.44) thì chiều dày của lõi hình thang thay đổi theo độ cao của dòng thấm. N. N. Pavlôpxki đề nghị lấy "chiều dày trung bình của lõi":

$$t_{tb} = \frac{t_c + T}{2} \qquad (12\text{-}76)$$



Hình 12.44

làm chiều dày tính toán, trong đó t_c - chiều dày của lõi tại cao trình đường bão hòa tiếp xúc với lõi phía thượng lưu; T - chiều dày của lõi ở nền đập.

Vì trước lúc vẽ đường bão hòa ta chưa biết đại lượng t_c nên để giải bài toán, N. N. Pavlôpxki đề nghị khi bắt đầu tính hãy lấy t_{tb} theo công thức:

$$t_{tb} = \frac{t_o + T}{2} \qquad (12\text{-}77)$$

trong đó: t_o - chiều dày của lõi ở cao trình ngang mực nước thượng lưu.

Sau khi đã vẽ được đường bão hòa theo chiều dày trung bình đó của lõi, có thể xác định được t_c và do đó có thể xác định được t_{tb} chính xác hơn theo công thức (12-76).

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

d) Đập có tường chắn

Tường chắn làm bằng vật liệu ít thấm nước (bêtông sét), có hệ số thấm bé hơn đất làm thân đập. Tương tự như trường hợp tính thấm qua lõi giữa (trong trường hợp đập có lõi giữa), khi tính thấm qua tường chắn N. N. Pavlôpxki đề nghị dùng giá trị bề dày trung bình để tính toán tường chắn như tường có bề dày không đổi theo chiều cao bằng:

$$\delta = \frac{\delta_o + \Delta}{2} \qquad (12\text{-}78)$$

trong đó: δ - chiều dày trung bình của tường;

δ_o - chiều dày tường ở cao trình ngang mực nước thượng lưu;

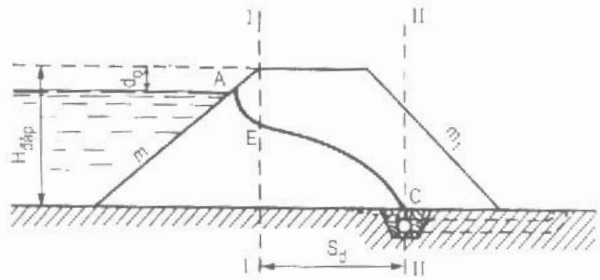
Δ - chiều dày tường ở nền đập.

Để giải bài toán này N. N. Pavlôpxki đưa ra 2 phương án: 1- trực tiếp lập hệ phương trình có xét đến sự khác nhau giữa hệ số thấm của tường và của thân đập và 2- biến đổi đập có tường thành "đập tương đương" bằng cùng chất đất như thân đập gọi là "phương pháp đẳng trị".

Vì sau khi đưa chiều dày đẳng trị của tường vào, ta có đập đồng chất, nên phương pháp giải cũng giống như đã trình bày ở trên.

e) Đập có vật thoát nước

Xây dựng vật thoát nước ở chân dốc hạ lưu để hạ thấp đường bão hòa và do đó tránh được xói mái dốc hạ lưu (hình 12.15). Đường bão hòa lúc này gồm hai đoạn - AE và EC.



Hình 12.45

Hệ phương trình thấm đối với trường hợp chung nhất khi $h_o > 0$, có dạng (theo N. N. Pavlôpxki) (hình 12.45):

$$\left.\begin{aligned} \frac{q}{k} &= \frac{H_đ - d_o - h}{m} \ln \frac{H_đ}{H_đ - h} \\ \frac{q}{k} &= \frac{h^2 - h_o^2}{2s_d} \end{aligned}\right\} \qquad (12\text{-}79)$$

trong đó: q - lưu lượng thấm trên 1m dài của đập;

k - hệ số thấm của đất thân đập;

$H_đ$ - chiều cao đập;

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

h_o - chiều cao ứng với mực nước trong vật thoát nước và bằng chiều sâu ở hạ lưu

$$d_o = H_d - H_{TL}$$

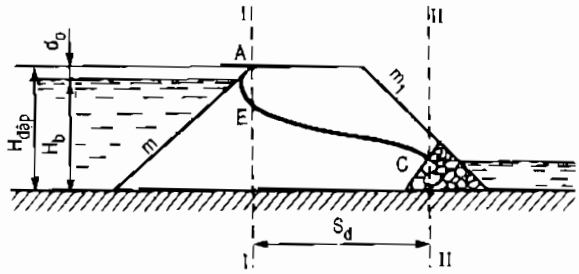
ở đây: H_{TL} - chiều sâu mực nước thượng lưu;

s_d - khoảng cách từ đường phân chia I - I đến vật thoát nước;

m - hệ số mái dốc thượng lưu;

h - tung độ của đường cong bão hòa tại mặt cắt phân chia I - I.

Công việc tính toán gồm xác định lưu lượng thấm và hình dạng đường cong bão hòa h = f(x).



Hình 12.46

Đối với trường hợp không có nước ở hạ lưu (h_o = 0) (hình 12.46), hệ phương trình sẽ là:

$$\left.\begin{aligned} \frac{q}{k} &= \frac{H_d - d_o - h}{m} \ln \frac{H_d}{H_d - h} \\ \frac{q}{k} &= \frac{h^2}{2s_d} \end{aligned}\right\} \qquad (12\text{-}80)$$

Các kí hiệu xem trong (12-79).

Đối với trường hợp $h_o > 0$, bằng cách so sánh các vế phải của hệ phương trình (12-79), ta có:

$$h = \sqrt{\frac{2s_d}{m}(H_d - d_o - h)\ln\frac{H_d}{H_d - h} + h_o^2} = \sqrt{(F)} \qquad (12\text{-}81)$$

trong đó:

$$F = \frac{2s_d}{m}(H_d - d_o - h)\ln\frac{H_d}{H_d - h} + h_o^2 = f(h) \qquad (12\text{-}82)$$

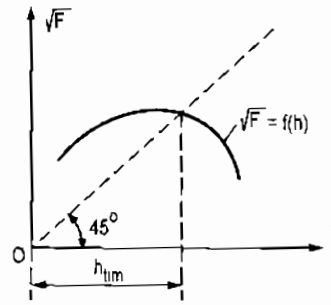
Đại lượng h có thể xác định (theo N. N. Pavlôpxki) bằng phương pháp đồ thị như sau: xác định đại lượng $\sqrt{F}$ cho các giá trị h khác nhau và vẽ đồ thị $\sqrt{F} = f(h)$ (hình 12.47). Nhưng vì $h = \sqrt{F}$, nên đại lượng cần tìm cũng nằm trên đường thẳng đi qua gốc tọa độ dưới một góc 45°, như vậy h cần tìm được xác định bằng giao điểm của đường thẳng đó và đường cong $\sqrt{F} = f(h)$. Sau khi xác định được h như trên, bằng phương trình thứ hai của hệ (12-79) ta xác định lưu lượng q.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Vẽ đường cong bão hòa trên đoạn s_d được tiến hành theo phương pháp của N. N. Pavlôpxki cho trường hợp chuyển động của nước ngầm với đáy bằng. Phương trình của đường bão hòa lúc này có dạng:

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



Hình 12.47

Đối với trường hợp $h_o = 0$, các bước giải bài toán vẫn như cũ, chỉ có h là được xác định theo công thức:

$$h = \sqrt{\frac{2s_d}{m}(H_d - d_o - h)\ln\frac{H_d}{H_d - h}} = \sqrt{(F)} \qquad (12\text{-}83)$$

12.8. THẤM DƯỚI CÁC CÔNG TRÌNH THỦY LỢI

Tính thấm dưới công trình thủy lợi là xác định giá trị áp lực thấm lên đáy công trình, vận tốc thấm và lưu lượng thấm. Những phương pháp chung để giải các bài toán đó là của các nhà bác học Xô Viết như N. N. Pavlôpxki, P. Ya. Pôlubarinpôva - Côsina và nhiều người khác. Trên cơ sở các phương pháp này mà nhiều vấn đề thực tế rất quan trọng đã được giải quyết. Các phương pháp lí thuyết được nghiên cứu, dùng cho bài toán thấm phẳng, các bài toán thấm không gian hiện mới chỉ được nghiên cứu bằng thực nghiệm.

Theo TYuH, các bài toán thấm không gian, có thể thay bằng bài toán phẳng, nếu:

$$\eta = b/l > 2{,}0 \div 2{,}5 \qquad (12\text{-}84)$$

trong đó b và *l* lần lượt là chiều rộng và chiều dài của đường viền dưới đất của công trình (*l* - dọc theo chiều dòng chảy).

Khi $\eta < 2{,}0$, bài toán thấm phải giải bằng phương pháp thực nghiệm (EGDA) do Pavlôpxki đề nghị.

a) Các phương pháp giải tích để giải bài toán thấm

Các cách giải giải tích dựa trên lí thuyết tổng quát về chuyển động có thế phẳng của chất lỏng.

Trong thực tế bài toán quy về xác định hàm thế của vận tốc $\varphi(x, y) = C$ và hàm dòng $\psi(x, y) = C$ thỏa mãn các điều kiện biên giới đã cho. Họ các đường có các giá trị bằng nhau của hai hàm số đó làm thành một lưới thẳng góc với nhau. Nếu khi vẽ lưới này ta dùng các quãng cách giống nhau cho các hàm φ và ψ tức là dùng điều

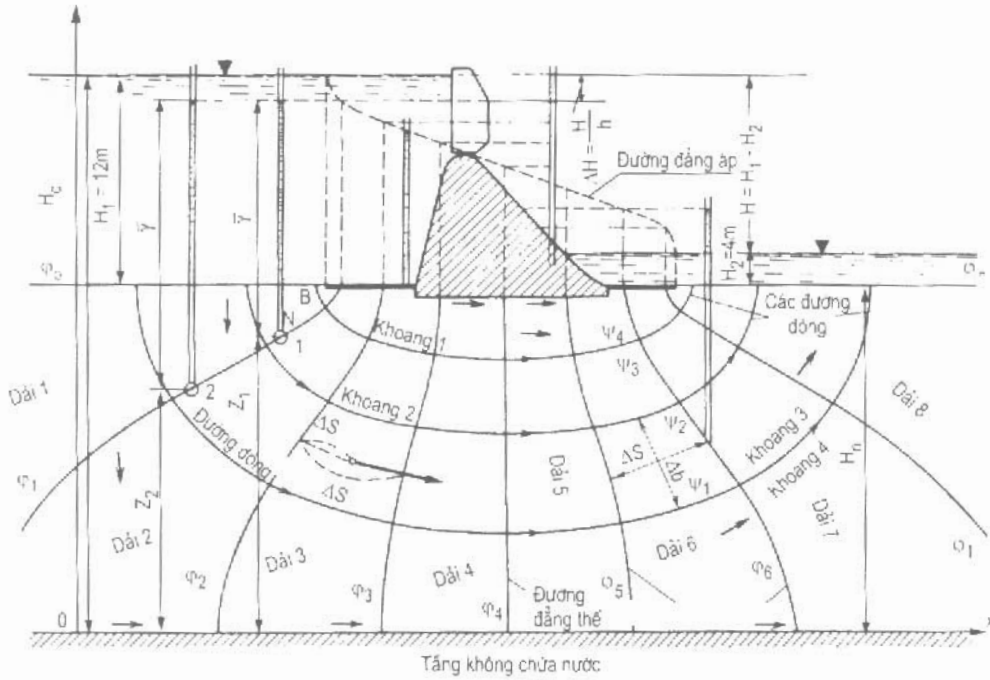
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

kiện $\Delta\varphi = \Delta\psi$, thì lưới đó là một hệ các hình vuông cong và được gọi là lưới thủy động lực.

Các đường có thế vận tốc $\varphi(x, y)$ bằng nhau gọi là đường đẳng thế. Đối với dòng thấm chúng đồng thời là đường thẳng cột nước $H = z + p/\gamma = \text{const}$ (hình 12.48). Do đó, nếu tại các điểm khác nhau (ví dụ, điểm 1 và 2) trên cùng một đường $\varphi = \text{const}$ ta đặt các ống đo áp thì mực nước trong các ống đo áp đó sẽ nằm trên cùng một độ cao:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} = \ldots = H = \text{const}$$



Hình 12.48

Đường đáy thượng lưu (đường AB) mà chuyển động của dòng thấm bắt đầu từ đó, là đường đẳng thế biên giới ban đầu $\varphi_0 = C_0$ và cột nước H_0 của nó xác định từ mặt nước tự do thượng lưu đến mặt phẳng so sánh (mặt phẳng các trục tọa độ Ox và Oy); Tương tự, đường đáy hạ lưu, nơi dòng thấm kết thúc, là đường đẳng thế biên giới cuối cùng $\varphi_n = C_n$ và cột nước của nó bằng H_n (hình 12.48) (nó phụ thuộc vào vị trí của mặt nước tự do hạ lưu).

Hiệu số cột nước $H - H_0 - H_n = H_1 - H_2$ là tổn thất cột nước để thắng sức cản thủy lực dọc đường dòng bất kì của dòng thấm đang xét. Tổn thất cột nước toàn phần H chia đều cho tất cả n giải thấm, tạo thành bởi những cặp đường đẳng thế vận tốc φ. Vì vậy hiệu cột nước giữa mỗi cặp các đẳng cột nước gần nhau (hoặc là các đường đẳng thế vận tốc) cũng sẽ như nhau:

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$\Delta H = \frac{H}{n} - \frac{H_1 - H_2}{n} \qquad (12\text{-}85)$$

Ở đây, H như đã trình bày ở trên, là độ chênh cột nước thượng - hạ lưu, còn n - số giải thấm do những đường đẳng thế vận tốc φ tạo nên trên lưới thủy động đang xét. Do đó đại lượng ΔH là tổn thất cột nước trên đường thấm từ một đường đẳng cột nước này đến đường đẳng cột nước kia (trên hình 12.48 số giải n = 8).

Độ dốc thủy lực. Nếu đo được (dùng tỉ lệ xích hình vẽ) chiều dài Δs của một đường dòng ψ nào đó giữa hai đường đẳng thế, thì đối với đoạn đường dòng này độ dốc thủy lực i sẽ là:

$$i = \frac{\Delta H}{\Delta s} \qquad (12\text{-}86)$$

Đại lượng độ dốc thủy lực i (đôi khi còn gọi là gradien thủy lực) sẽ thay đổi từ một mắt lưới thủy động này đến một mắt lưới thủy động khác.

Hàm dòng ψ được biểu diễn đồ thị bằng một họ các đường đẳng trị $\psi_1 = C_1$; $\psi_2 = C_2$ v.v... Các đường này trùng với đường dòng (còn trong chuyển động ổn định trùng cả với quỹ đạo), vì vậy chính hàm ψ cũng được gọi là hàm dòng. Đường dòng chỉ hướng chảy, vì tại các điểm nằm trên từng đường dòng đang xét vận tốc có phương tiếp tuyến với các đường đó.

Lưu lượng chảy qua giữa hai đường dòng, bằng hiệu các giá trị của các hàm số dòng ψ_2 và ψ_1, tức là $\Delta Q = \psi_2 - \psi_1$. Vì vậy đối với lưới thủy động lực, đo hiệu số Δψ giữa hai đường dòng bất kì gần nhau là như nhau, nên lưu lượng ΔQ giữa một cặp đường dòng bất kì cạnh nhau cũng sẽ như nhau.

Nếu đã vẽ được lưới thủy động cho một trường hợp cụ thể bất kì nào đó thì dùng lưới này có thể xác định gần đúng được tất cả những đặc tính của dòng thấm - vận tốc, áp suất thủy động, lưu lượng và các thông số khác.

Xác định vận tốc thấm. Vận tốc thấm tại một điểm bất kì, thí dụ như điểm M (hình 12.48) được xác định theo công thức:

$$u = ki = k\frac{\Delta H}{\Delta s}$$

trong công thức này k - hệ số thấm; đại lượng ΔH, như đã nói trên là độ chênh cột nước của hai đường φ = const cạnh nhau; Δs là chiều dài đường dòng (đi qua điểm M đang xét) giữa các đường cạnh nhau φ_i và φ_{i+1}[1]. Đại lượng này được đo trực tiếp trên hình vẽ (dùng thước tỉ lệ xích).

Xác định áp suất p. Áp suất tại điểm bất kì, thí dụ điểm M, được xác định theo công thức:

---

[1] Ở đây cũng như về sau để cho gọn, trong một số trường hợp ta sẽ gọi đường dòng cũng như đường các giá trị bằng nhau của hàm dòng là "đường ψ", còn đường đẳng thế của vận tốc - "đường φ".

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$p = \gamma(H_M - z_M)$$

trong đó: γ - trọng lượng thể tích của chất lỏng;

H_M - cột nước của đường đẳng thế φ đi qua điểm M. Chúng bằng:

$$H_M = H_o - \Delta Ht - \Delta H\frac{\Delta s_M}{\Delta s}$$

hoặc:
$$H_M = H_o - \frac{H_1 - H_o}{n}\left(t + \frac{\Delta s_M}{\Delta s}\right)$$

trong đó:

ΔH - độ hạ thấp cột nước trên một giải;

t - số giải nằm ở phía trên điểm M (tính theo chiều chảy) (trong trường hợp đang xét t = 2);

Δs_M - khoảng cách từ đường đẳng thế của vận tốc φ_2 đến điểm M

Δs - khoảng cách giữa các đường đẳng thế φ_2 và đẳng thế φ_3 (hình 12.48).

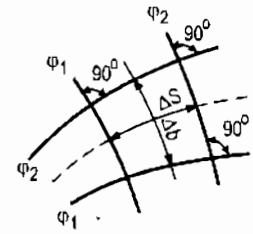
Xác định trị số lưu lượng thấm. Vì toàn bộ khu vực thấm được chia thành nhiều giải thấm bằng các đường dòng, mà khi vẽ lưới thủy động lực thì hiệu của hàm dòng $\psi_{i+1} - \psi_i = \Delta\psi$ được lấy như nhau cho từng cặp các đường dòng cạnh nhau, nên lưu lượng thấm của tất cả các giải đều bằng nhau. Nếu lưu lượng của mỗi giải là ΔQ, thì lưu lượng thấm toàn phần sẽ bằng:

$$Q = \Delta Q.m$$

trong đó: m - số giải;

ΔQ - lưu lượng của một giải:

$$\Delta Q = \omega v = \Delta bk\frac{H}{n\Delta s} = k\frac{H}{n}$$



Hình 12.49

Ở đây: $\Delta b = \Delta s$ (hình 12.49). Do đó, lưu lượng thấm toàn phần tính cho 1m dài[1] của công trình sẽ là:

$$Q = \Delta Qm = kH\frac{m}{n} \qquad (12\text{-}87)$$

Thí dụ: Cho (áp dụng cho sơ đồ trên hình 12.48) hệ số thấm k = 0,1 cm/s, H_o = 30m; H_1 = 12m; H_2 = 4m; z_M = 16,0m; do đó $H = H_1 - H_2$ = 8m. Lưới thủy động lực gồm năm đường dòng ψ, tạo thành bốn giải và chín đường đẳng thế (đường φ = C), tạo nên tám giải, lấy Δs = 2,5m; Δs_M = 1,5m. Xác định vận tốc thấm v và áp suất p tại điểm M (hình 12.48), cũng như giá trị lưu lượng thấm Q.

---

[1] Thẳng góc với hình vẽ ở hình 12.48, cũng như hình 12.49.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Giải:

1- Vận tốc thấm tại điểm M (được xác định như giá trị trung bình trên đoạn thấm giữa các đường φ_2 và φ_3):

$$u_M = k\frac{\Delta}{n\Delta s} = 0,1\frac{8}{8.2,5} = 0,04 cm/s = 0,04\frac{86400}{100} = 34,5 \text{ m/ngày-đêm}$$

Áp suất:

$$p = \gamma(H_M - z_M) = \gamma\left[\left(H_o - \frac{H}{n}t - \frac{H}{n}\frac{\Delta s_M}{\Delta s}\right) - z_M\right] =$$

$$= 1000\left(30 - \frac{8}{8}\cdot 2 - \frac{8}{8}\cdot\frac{1,5}{2,5}\right) - 16,00 =$$

$$= 1000(30 - 2 - 0,6 - 16,0) = 1000.11,40 = 11400 \text{ kG/m}^2$$

Lưu lượng thấm dưới công trình (trên một đơn vị chiều dài đập) bằng

$$Q = kH\frac{m}{n} = 0,1.800\cdot\frac{4}{8} = 40 \text{ cm}^3/\text{s trên 1cm dài}$$

hoặc

$$Q = \frac{40.100.86400}{100^3} = 345 \text{ m}^3/\text{ngày-đêm}$$

Cách vẽ lưới thủy động. Có thể vẽ lưới thủy động bằng các phương pháp khác nhau.

Vì các đường φ và ψ về phương diện hình học không phụ thuộc cả vào hệ số thấm k và vào các cột nước H_1 và H_2, chỉ phụ thuộc vào hình dạng của các ranh giới khu vực thấm, nên hai lưới thủy động sẽ tương tự hình học với nhau, nếu ranh giới của chúng tương tự hình học với nhau. Nhờ tính chất này mà có thể dùng các lưới có sẵn của các trường hợp riêng.

Cách vẽ chính xác được tiến hành bằng các biểu thức của các hàm φ và ψ tìm được bằng lí thuyết. Trong trường hợp này các tọa độ x và y của các đường φ và ψ dùng chúng để vẽ các lưới thủy động lực tương ứng. Dưới đây trình bày các bảng tọa độ do N. N. Pavlôpxki lập ra cho các trường hợp riêng cụ thể.

Có thể vẽ gần đúng lưới thủy động lực bằng con đường thực nghiệm trên các máy chuyên dùng (phương pháp EGĐA - phương pháp tương tự động lực điện - nước, do N. N. Pavlôpxki đề xuất) hoặc bằng đồ thị, vẽ gần đúng các đường φ và ψ theo "tay vẽ", "mắt nhìn".

Ở phương pháp thứ hai không vẽ một lần là xong mà phải làm thử nhiều lần để cho những đường dòng và đường đẳng thế ở mọi chỗ đều tạo nên các hình vuông cong, có các đường chéo bằng nhau và các góc 90^o. Để đạt được yêu cầu đó phải vẽ

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

các đường φ và ψ sao cho các đường trung bình Δs và Δb ở mỗi ô vuông bằng nhau, tức là phải có đẳng thức Δs = Δb (hình 12.49).

Khi bắt đầu vẽ lưới cần nhớ rằng, đường viền dưới đất của công trình và đường không thấm nước là hai đường dòng ở biên, còn đường đáy thượng và hạ lưu là hai đường đẳng thế φ đầu tiên và cuối cùng. Muốn vẽ lưới thủy động lực được chính xác cần phải có kinh nghiệm nhất định. Ban đầu nên sử dụng các lưới mẫu sẵn có trong những trường hợp có các điều kiện tương tự.

Những bảng để vẽ lưới thủy động lực theo phương pháp cơ học chất lỏng chính xác của N. N. Pavlôpxki:

Khi giải các sơ đồ khác nhau bằng cơ học chất lỏng ta không sử dụng các kích thước thật của công trình mà là các kích thước dẫn suất, tức là các kích thước ứng với cột nước $H = H_1 = 1m$; $k = 1$ m/s và giá trị đơn vị của kích thước đặc trưng, vì vậy muốn có các kích thước thật của công trình cần nhân kết quả với hệ số tỉ lệ có trị số khác nhau đối với các sơ đồ khác nhau. Trong các bảng 12.7 ÷ 12.12 cho các giá trị tọa độ để vẽ lưới thủy động lực đối với các sơ đồ khác nhau của các đường viền dưới đất của công trình. Dùng các bảng nói trên của các tọa độ lưới chuyển động, có thể vẽ lưới cho các bài toán cụ thể ứng với các sơ đồ ghi trong các bảng.

Trong các sơ đồ tính toán và các bảng 12.7 ÷ 12.12 đã dùng các kí hiệu sau:

$2l$ - chiều dài tấm đáy; l - nửa chiều dài tấm đáy;

s - chiều dài bản cọc; T - chiều sâu tầng đất thấm nước.

Trên các sơ đồ của tấm đáy được vẽ theo một tỉ lệ xích nào đó, đã chấm các điểm có tọa độ lấy trong bảng. Dùng thước cong nối các điểm có tọa độ trong phạm vi một hàng của bảng ta sẽ có đường dòng; còn đường nối các điểm có tọa độ trong phạm vi một cột của bảng sẽ là đường đẳng cột nước (hoặc đường đẳng thế).

Đối với các trường hợp không có lời giải lí thuyết để vẽ lưới chuyển động, có thể dùng phương pháp đồ thị. Phương pháp đồ thị vẽ lưới thủy động được dùng ở bất kì giai đoạn thiết kế nào, tuy nhiên đối với các công trình quan trọng nên dùng các phương pháp thực nghiệm để vẽ lưới (phương pháp EGĐA).

Xác định tổng áp lực dòng thấm lên đáy công trình thủy lợi

Khi tính toán về ổn định của công trình thủy lợi, cần phải biết các lực tác dụng lên công trình, trong đó có áp lực thấm. Để xác định lực này nên dùng các biểu đồ phân bố áp suất thủy động. Biểu đồ áp suất có thể vẽ bằng cách : xác định các đại lượng p/γ cho nhiều điểm trên đường viền dưới đất (thường lấy tất cả các giao điểm giữa đường đẳng thế và đường viền dưới đất) rồi dựng các đoạn p/γ tương ứng (theo tỉ lệ xích đã chọn) thẳng góc với đường viền từ các điểm ấy (hình 12.50).

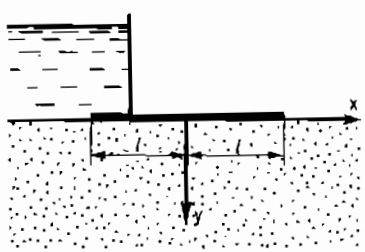
https://tieulun.hopto.org

Bảng 12.7. Các tọa độ để vẽ lưới chuyển động cho tấm đáy phẳng khi tầng thấm nước sâu vô hạn (l = 1m)

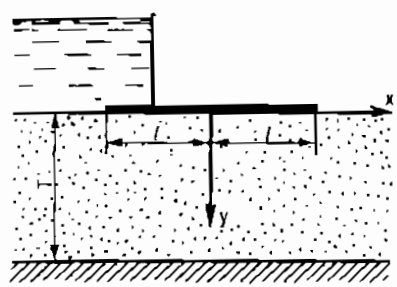
Y	X = 0		X = 0,1π		X = 0,2π		X = 0,3π		X = 0,4π		X = 0,5π	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
0	0	0	0,309	0	0,588	0	0,809	0	0,951	0	1,000	0
0,1π	0	0,320	0,324	0,304	0,618	0,259	0,850	0,183	0,999	0,099	1,050	0
0,2π	0	0,672	0,372	0,639	0,708	0,544	0,975	0,395	1,145	0,208	1,208	0
0,3π	0	1,085	0,456	1,031	0,868	0,878	1,193	0,638	1,403	0,385	1,475	0
0,4π	0	1,611	0,583	1,532	1,115	1,308	1,534	0,948	1,804	0,498	1,898	0
0,5π	0	2,299	0,774	2,185	1,474	1,860	2,028	1,351	2,283	0,710	2,507	0

Ghi chú:

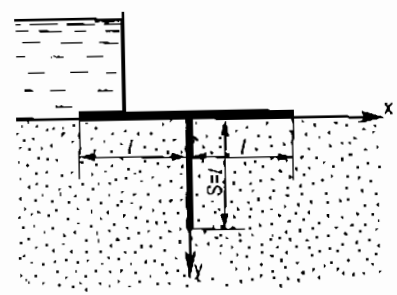
1. Bảng cho với các giá trị x dương, đối với phần đối xứng của lưới chuyển động, các giá trị hoành độ (âm) cũng lấy bằng như vậy, nhưng với dấu âm.
2. Ở đây và trong các bảng tiếp theo X = X(x, y) và Y = Y(x, y) là các phương trình X(x, y) = const - đường thế vận tốc và Y(x, y) = const - đường dòng ứng với hàm biến phức Z = X(x, y) + iY(x, y). Các chữ x và y dùng để chỉ các tọa độ.



Hình cho bảng 12.7



Hình cho bảng 12.8



Hình cho bảng 12.9

www.thuvien247.net

https://tieulun.hopto.org

Bảng 12.8. Các tọa độ để vẽ lưới chuyển động của tấm đáy phẳng khi tầng thấm nước hữu hạn và $l/T = 0,25$ (các tọa độ x và y cho theo số phần của π và khi $T = \pi/2$)

Y	X = 0		X = 1/4K		X = 1/2K		X = 3/4K		X = K	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
0	0	0	0,092	0	0,151	0	0,229	0	0,250	0
1/4 K'	0	0,101	0,698	0,094	0,187	0,078	0,252	0,049	0,276	0
1/2 K'	0	0,217	0,116	0,208	0,228	0,174	0,320	0,106	0,360	0
3/4 K'	0	0,350	0,135	0,343	0,280	0,313	0,455	0,229	0,572	0
K'	0	0,500	0,147	0,500	0,312	0,500	0,573	0,500	0	0

Ghi chú: 1. Các tọa độ của lưới chuyển động ứng với nửa phần đối xứng bên phải của hình vẽ ($x > 0$).

2. K - tích phân êliptic toàn phần loại một $\int_0^{\pi/2} \frac{d\varphi}{\sqrt{1-\lambda^2 \sin^2 \varphi}}$ khi môđun $\lambda = th\frac{l}{}$; K' - tích phân êliptic toàn phần loại một khi môđun bổ sung $\lambda' = \sqrt{1-\lambda^2}$. Các giá trị bằng số K và K' cũng có thể lấy trên bảng.

Bảng 12.9. Các tọa độ để vẽ lưới chuyển động của tấm đáy phẳng có bản cọc với chiều dài $s = l$ khi tầng thấm nước sâu vô hạn và bản cọc bố trí đối xứng qua nền công trình (l = 1m)

Y	X = 0		X = 0,1π		X = 0,2π		X = 0,3π		X = 0,4π		X = 0,5π	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
0	0	1,000	0	0,900	0	0,555	0,555	0	0,900	0	1,00	0
0,1π	0	1,098	0,196	1,006	0,430	0,742	0,742	0,430	1,006	0,195	1,098	0
0,2π	0	1,380	0,368	1,293	0,728	1,057	1,057	0,728	1,293	0,368	1,380	0
0,3π	0	1,832	0,542	1,732	1,046	1,458	1,458	1,046	1,732	0,542	1,832	0
0,4π	0	2,490	0,758	2,362	1,453	2,005	2,005	1,453	2,362	0,758	2,490	0
0,5π	0	3,400	1,046	3,232	1,994	2,747	2,747	1,994	3,232	1,046	3,400	0

Ghi chú: Các tọa độ cho đối với nửa đối xứng bên phải của hình vẽ ($x > 0$).

www.thuvien247.net

https://tieulun.hopto.org

Bảng 12.10. Các tọa độ để vẽ lưới chuyển động cho tấm đáy phẳng có một bản cọc với chiều dài s = *l*; bản cọc bố trí cách một mép tấm đáy một khoảng cách bằng 0,5*l*; tầng thấm nước có chiều sâu vô hạn (*l* = 1m)

Y	X = –0,5π		X = –0,4π		X = –0,3π		X = –0,2π		X = –0,1π	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
0	–1,500	0	–1,415	0	–1,151	0	–0,667	0	0	0,608
0,1π	–1,588	0	–1,501	0,157	–1,245	0,348	–0,848	0,556	–0,424	0,842
0,2π	–1,850	0	–1,775	0,348	–1,500	0,680	–1,111	0,986	–0,668	1,240
0,3π	–2,295	0	–2,187	0,550	–1,885	1,033	–1,429	1,446	–0,888	1,720
0,4π	–2,949	0	–3,816	0,770	–2,435	1,471	–1,846	2,037	–1,115	2,411
0,5π	–3,880	0	–3,702	1,070	–3,195	2,042	–2,406	2,818	–1,417	3,321

Y	X = 0		X = 0,1π		X = 0,2π		X = 0,3π		X = 0,4π		X = 0,5π	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
0	0	0,940	0	0,994	0	0,858	0	0,546	0,307	0	0,500	0
0,1π	–0,150	1,060	0,050	1,088	0,225	0,939	0,382	0,646	0,558	0,295	0,647	0
0,2π	–0,245	1,380	0,138	1,361	0,485	1,136	0,740	0,844	0,931	0,434	1,004	0
0,3π	–0,289	1,865	0,279	1,781	0,770	1,543	1,163	1,120	1,420	0,588	1,520	0
0,4π	–0,318	2,554	0,470	2,442	1,176	2,089	1,732	1,522	2,090	0,798	2,211	0
0,5π	–0,331	3,500	0,746	3,340	1,728	2,844	2,500	2,070	2,993	1,067	3,167	0

www.thuvien247.net

https://tieulun.hopto.org

Bảng 12.11. Các tọa độ để vẽ lưới chuyển động cho tấm đáy phẳng với một bản cọc có chiều dài s = *l*; bản cọc bố trí cách một mép tấm đáy một khoảng cách bằng 0,5*l*; tầng thấm nước có chiều sâu vô hạn (*l* = 1m)

Y	X = –0,5π		X = –0,4π		X = –0,3π		X = –0,2π		X = –0,1π	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
0	–2,000	0	–1,921	0	–1,659	0	–1,220	0	–0,513	0
0,1π	–2,102	0	–2,011	0,180	–1,742	0,352	–1,317	0,519	–0,779	0,728
0,2π	–2,375	0	–2,275	0,367	–1,989	0,711	–1,545	1,012	–0,909	1,261
0,3π	–3,842	0	–2, 728	0,581	–2,390	1,110	–1,870	1,549	–1,288	1,841
0,4π	–3,565	0	–3,414	0,810	–2,988	1,605	–2,319	2,221	–1,486	2,633
0,5π	–4,585	0	–4,385	1,175	–3,824	2,262	–2,900	3,102	–1,824	3,658

Y	X = 0		X = 0,1π		X = 0,2π		X = 0,3π		X = 0,4π		X = 0,5π	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
0	0	0,783	0	0,993	0	0,943	0	0,724	0	0,389	0	0
0,1π	–0,024	0,993	–	1,111	0,155	1,026	0,297	0,781	0,382	0,418	0,416	0
0,2π	–0,476	1,425	–	1,440	0,365	1,278	0,646	0,953	0,822	0,508	0,882	0
0,3π	–0,547	2,002	0.112	1,927	0,664	1,689	1,097	1,243	1,353	0,658	1,462	0
0,4π	–0,582	2,793	0,303	2,679	1,097	2,295	1,706	1.676	2,109	0,883	2,244	0
0,5π	–0,604	3,860	0.610	3,680	1,699	3,140	2,558	2.286	3,110	1,200	3,300	0

www.thuvien247.net

https://tieulun.hopto.org

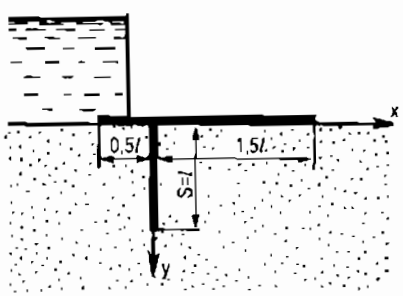
Bảng 12.12. Các tọa độ để vẽ lưới chuyển động cho tấm dáy phẳng với bản cọc trung tâm, tầng thấm nước có chiều sâu hữu hạn T (các tọa độ x và y cho theo số phần của π) lấy T = π/2; *l* = T/2 = π/4; s = *l* = π/4

Y	X = 0		X = 1/4K		X = 1/2K		X = 3/4K		X = K	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
0	0	0,250	0	0,217	0	0,081	0,200	0	0,250	0
1/4π	0	0,270	0,051	0,243	0,132	0,163	0,238	0,077	0,286	0
1/2π	0	0,322	0,089	0,306	0,204	0,246	0,318	0,155	0,379	0
3/4π	0	0,407	0,111	0,405	0,255	0,375	0,441	0,285	0,588	0
π	0	0.500	0,123	0,500	0,268	0,500	0,494	0,500	–	0,500

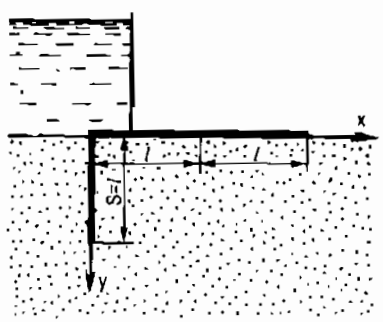
Ghi chú: 1. Các tọa độ cho đối với nửa đối xứng bên phải của hình (x > 0).

2. K và K' - các tích phân êliptic toàn phần loại một với các môdun cơ bản và bổ sung λ và λ'

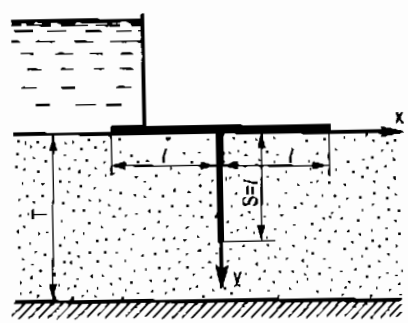
$$\lambda = \cos s\sqrt{\text{th}^2 l + \text{tg}^2 s}\,;\ \lambda' = \sqrt{1-\lambda^2}.$$



Hình vẽ cho bảng 12.10



Hình vẽ cho bảng 12.11

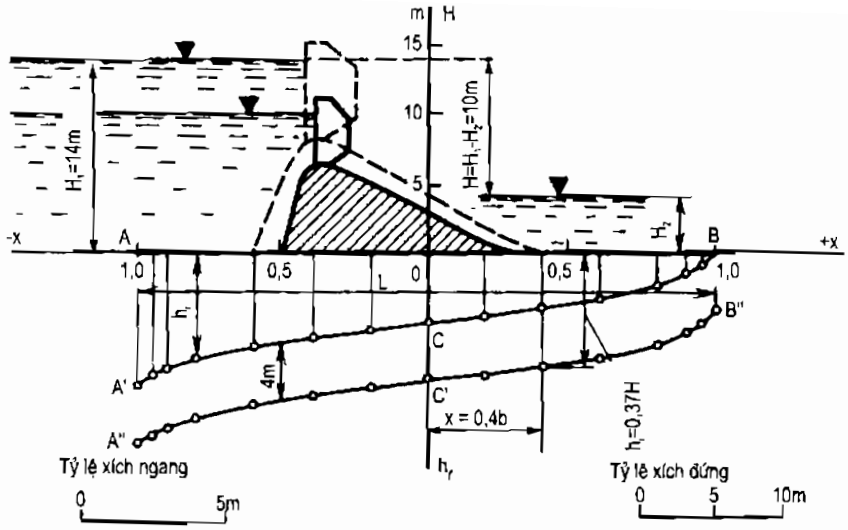


Hình vẽ cho bảng 12-12

www.thuvien247.net

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 12.50

Thí dụ, đối với đường AB, ta tính áp suất thủy động tại các điểm A và B

$$p_A/\gamma = H_A - z_A \text{ và } p_B/\gamma = H_B - z_B$$

và đặt lần lượt các đoạn p_A/γ và p_B/γ thẳng góc với đường AB từ điểm A và B. Khi đó hình thang AA"B"B là biểu đồ phân bố áp suất thấm gần đúng trên đoạn AB.

Để có biểu đồ áp suất thấm chính xác hơn, có thể xác định p/γ cho các giao điểm của đường φ và đường viền công trình (trong khoảng giữa các điểm A và B). Tổng áp lực thấm P trên đoạn đang xét của đường viền bằng diện tích của biểu đồ Ω. Áp lực P_y là tích giữa diện tích biểu đồ Ω và trọng lượng thể tích chất lỏng γ, tức là theo công thức $P_y = \gamma\Omega$. Lực P_y này có phương thẳng góc với đường viền và đi qua trọng tâm biểu đồ.

Ghi chú: Đôi khi áp lực thủy động lên đáy công trình được xác định bằng tổng áp lực đẩy nổi (diện tích chữ nhật của biểu đồ H_2) do đáy công trình bị lún so với mức nước hạ lưu và áp lực thấm do cột nước $H = H_2 - H_1$ bằng diện tích phần còn lại của biểu đồ áp suất. Áp lực thấm lên đáy công trình không bằng nhau, nó lớn nhất ở phía trên và bằng không ở phía mép dưới bản đáy.

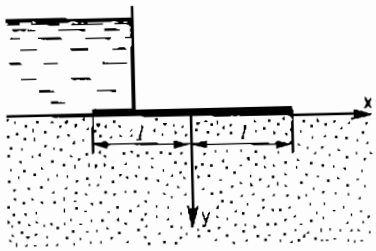
Có thể vẽ biểu đồ áp suất thủy động lên đáy của một vài sơ đồ đường viền dưới đất công trình thủy lợi bằng cách dùng các bảng được lập ra theo kết quả giải chính xác các bài toán thấm dưới công trình thủy lợi theo phương pháp của N. N. Pavlôpxki (bảng 12.13 ÷ 12.21). Trong các bảng cho các trị số tương đối của áp suất $h_r = h/H$.

https://tieulun.hopto.org

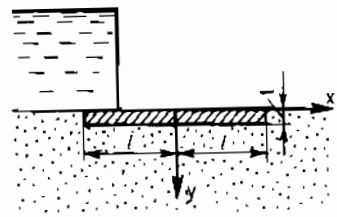
www.thuvien247.net

Bảng 12.13. Các tọa độ để vẽ biểu đồ áp suất lên tấm đáy phẳng đặt trên nền thấm có chiều sâu vô hạn. Chiều dài tấm đáy $2l$; H = 1; các hoành độ x lấy theo số phần của l

x	−1,0	−0,95	−0,90	−0,8	−0,6	−0,4	−0,2
h_r	+1,0	+0,90	+0,86	+0,80	+0,71	+0,63	+0,56
x	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	0,95
h_r	0,50	0,44	0,37	0,29	0,21	0,14	0,10



Hình cho bảng 12.13

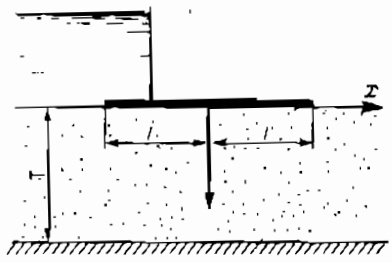


Hình cho bảng 12.14

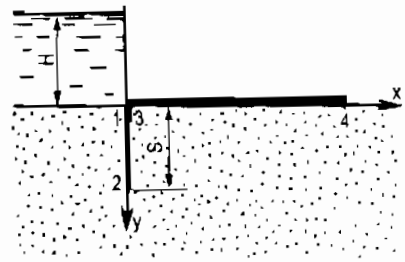
Bảng 12.14. Các tọa độ để vẽ biểu đồ áp suất lên đường viền dưới đất của tấm đáy chữ nhật có chiều dày t đặt trên nền thấm có chiều sâu vô hạn. Cột nước h_r = h/H cho bằng số phần của H và phụ thuộc vào t/l; các hoành độ x cho bằng số phần của l

t/l	Trị số hoành độ x khi h_r thay đổi bằng						
	0,50	0,40	0,30	0,214	0,200	0,187	0,141
0	0	0,309	0,588	0,783	0,809	0,833	0,903
0,2	0	0,372	0,696	–	0,931	–	1,000
0,4	0	0,415	0,769	0,963	0,987	1,000	–
0,6	0	0,453	0,832	1,000	–	–	–

Ghi chú: Các tọa độ tương ứng với nửa bên phải của tấm đáy, tức là các giá trị x dương.



Hình cho bảng 12.15



Hình cho bảng 12.16 và 12.17

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 12.15. Các tọa độ để vẽ biểu đồ áp suất lên tấm đáy phẳng đặt trên nền thấm có chiều sâu T. Các hoành độ x cho bằng số phần của *l*

h_r	Trị số hoành độ x ứng với các tỉ số *l*/T				
	2	1	2/3	1/2	1/4
0,5	0	0	0	0	0
0,4	0,243	0,274	0,287	0,296	0,309
0,3	0,485	0,538	0,559	0,571	0,583
0,2	0,720	0,771	0,787	0,796	0,809
0,1	0,914	0,941	0,943	0,946	0,951
0	1	1	1	1	1

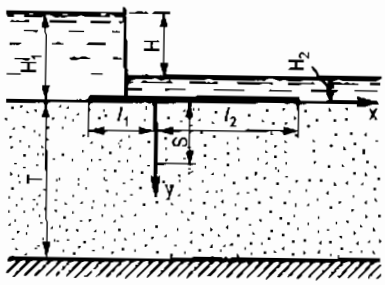
Ghi chú: Các tọa độ cho tương ứng với nửa đối xứng bên phải của biểu đồ (x > 0).

Bảng 12.16. Các tọa độ để vẽ biểu đồ áp suất lên đáy công trình của tấm đáy phẳng đặt trên nền thấm nước có chiều sâu vô hạn, có chiều dài bản cọc s = 1/3*l* bố trí ở mép trên, các hoành độ x cho bằng số phần *l* của đường viền. Cột nước dẫn xuất h_r cho bằng số phần của H

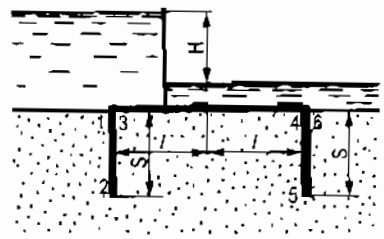
x	−1,33	−1,09	−0,83	−0,74	−0,67	−0,62	−0,37
h_r	1,0	0,90	0,80	0,70	0,58	0,50	0,40
x	0	0,45	0,78		0,95		1,00
h_r	0,36	0,3	0,2		0,1		0

Bảng 12.17. Áp suất lên đáy tại mép thượng lưu và áp suất trung bình lên tấm đáy phẳng có bản cọc đặt tại đầu tấm đáy. Áp suất h_r cho bằng số phần của H

s/(2*l*)	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,00
h_{r3}	1,0	0,73	0,6	0,53	0,47	0,42	0,38	0,35	0,32	0,30	0,28
h_{rtb}	0,5	0,45	0,4	0,37	0,34	0,31	0,28	0,26	0,24	0,22	0,20



Hình cho bảng 12.18 và 12-19



Hình cho bảng 12.20

https://tieulun.hopto.org

Bảng 12.18. Áp suất lên tấm đáy phẳng có bản cọc. Chiều dài bản cọc s = 0,3T; các tọa độ x cho bằng số phần của chiều sâu tầng thấm nước; áp suất h_r cho bằng số phần của H; T = π/2

l_1	Các giá trị áp suất h_r tùy thuộc vào x											l_2
	–0,75	–0,50	–0,25	– 0 (đến bản cọc)	+ 0 (sau bản cọc)	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	
0	–	–	–	1,00	0,62	0,59	0,51	0,42	0,33	0,22	0	1,5
0,5	–	1,00	0,83	0,78	0,56	0,53	0,46	0,35	0,29	0,20	0	1,5
1,0	0,83	0,76	0,69	0,66	0,48	0,45	0,40	0,33	0,25	0,17	0	1,5
0	–	–	–	1,00	0,54	0,49	0,39	0,26	–	–	–	1,0
0,5	–	1,00	0,80	0,74	0,45	0,43	0,34	0,23	–	–	–	1,0
1,0	0,81	0,71	0,64	0,61	0,39	0,36	0,29	0,19	–	–	–	1,0

Bảng 12.19. Áp suất lên tấm đáy có bản cọc. chiều dài bản cọc s = 0,4T; các hoành độ x - bằng số phần của chiều sâu tầng thấm nước T; áp suất h_r cho bằng số phần của H

l_1	Các giá trị của h_r tùy thuộc vào x bằng												l_2
	0,75	–0,50	–0,25	–0	+0	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,70	
0	–	–	–	1,00	0,63	0,60	0,55	0,48	0,41	0,34	0,26	0,17	2,0
0,5	–	1,00	0,88	0,84	0,58	0,56	0,51	0,45	0,39	0,29	0,25	0,16	2,0
1,0	0,9	0,83	0,76	0,73	0,52	0,50	0,45	0,40	0,34	0,23	0,22	0,14	2,0
0	–	–	–	1,00	0,56	0,53	0,44	0,39	0,30	0,20	0	–	1,5
0,5	–	1,00	0,85	0,82	0,51	0,49	0,43	0,36	0,28	0,19	0	–	1,5
1,0	0,85	0,72	0,71	0,69	0,45	0,43	0,38	0,32	0,24	0,16	0	–	1,5
1,5	0,72	0,67	0,62	0,60	0,40	0,38	0,33	0,28	0,22	0,15	0	–	1,5
0	–	–	–	1,00	0,47	0,43	0,35	0,24	0	–	–	–	1,0
0,5	–	1,00	0,81	0,77	0,42	0,39	0,32	0,22	0	–	–	–	1,0
1,0	0,82	0,73	0,67	0,64	0,36	0,38	0,27	0,18	0	–	–	–	1,0

https://tieulun.hopto.org
www.thuvien247.net

www.thuvien247.net

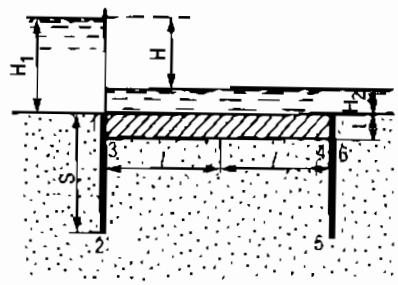
Bảng 12.20. Áp suất tại các điểm đặc trưng của đường viền của tấm đáy phẳng có hai bản cọc ở các mép. Chiều dài bản cọc bằng s; *l* - một nửa tấm đáy. Tầng thấm nước có chiều sâu vô hạn. Áp suất h_r cho tương ứng với các tỉ số s/*l* khác nhau bằng số phần của cột nước H

s/*l*	Các giá trị h_r tại các điểm			
	1	2	3	4
0,2	1,0	0,733	0,267	0,186
0,4	1,0	0,647	0,353	0,244
0,6	1,0	0,597	0,403	0,277

Bảng 12.21. Áp suất tại các điểm đặc trưng của đường viền chữ nhật của tấm đáy có hai bản cọc trên các mép. Tầng thấm nước có chiều sâu vô hạn. Áp suất cho bằng số phần của cột nước H tương ứng với các tỉ số s/*l* và t/*l*

s/*l*	Các giá trị h_r tại các điểm				
	t/*l*	1	2	4	5
0,4	0,20	1,0	0,706	0,294	0,226
0,60	0,40	1,0	0,686	0,314	0,256

Thí dụ: Vẽ biểu đồ áp suất thủy động cho tấm đáy phẳng đặt trên nền thấm sâu vô hạn theo sơ đồ trên hình 12.50. Cho chiều sâu mực nước thượng lưu H_1 = 10m; hạ lưu H_2 = 0 và do đó H = $H_1 - H_2$ = 10m. Chiều dài đường viền không thấm AB bằng L = 2*l* = 20m (b = 10m).



Hình cho bảng 12.21

Giải:

1- Dùng bảng 12.14 và để vẽ biểu đồ ta lấy trục Oy làm trục h_r. Trục h_r đặt thẳng đứng từ trên xuống dưới và đi qua điểm giữa của đoạn AB. Tìm các tọa độ của biểu đồ áp suất thủy động, tức là các tọa độ của đường A'CB, bằng cách nhân các tọa độ ghi trong bảng 12.14 với 10 (vì trong bảng các tọa độ ứng với cột nước H = 1,0).

Ghi chú: Nếu theo đầu bài, mực nước hạ lưu H_2 không bằng không, thí dụ H_2 = 4m, thì cũng dưới cột nước H = $H_1 - H_2$ = 10m, áp lực tổng cộng lên đường viền dưới đất sẽ tăng lên, đường A'CB của biểu đồ sẽ hạ thấp xuống một đại lượng bằng H_2 và ở vị trí A''C'B'' (hình 12.50).

2- Tổng áp lực toàn phần, tức là lực của dòng thấm tác dụng lên toàn bộ đường viền dưới đất của công trình (theo đường AB), được xác định bằng tích số giữa diện

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

tích biểu đồ (diện tích AA'B trong trường hợp thứ nhất và diện tích AA"C'B"B trong trường hợp thứ hai) với trọng lượng thể tích γ, tức là:

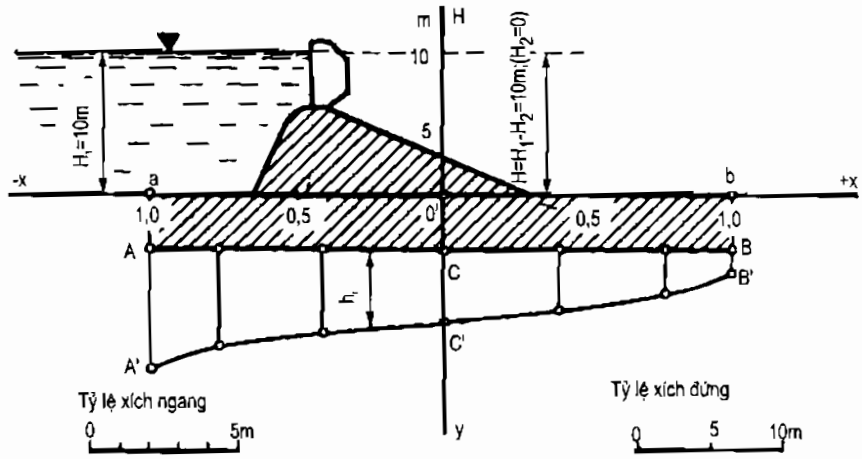
$$P_y = \gamma_d(AA'B) \quad \text{hoặc} \quad P_y = \gamma_d(AA"C'B"B)$$

Lực P_y đi qua trọng tâm của biểu đồ.

Nếu móng công trình đặt ở độ sâu t, thì để vẽ biểu đồ áp suất cần sử dụng bảng 12.14. Giả thử t = 0,4*l*, khi đó các trị số tọa độ x trong hàng ngang thứ ba của bảng 12.14 là ứng với trị số t/*l* = 0,4.

3- Do đó, với giả thiết là chiều sâu mực nước thượng lưu H_1 = 10m, còn hạ lưu H_2 = 0 (trường hợp thứ nhất của thí dụ này), ta sẽ có các tọa độ sau đây của đường A'CB' của biểu đồ áp suất (hình 12.51).

h_r = 0,813	0,80	0,70	0,60	0,50	
x = –1,000	–0,987	–0,968	–0,769	–0,415	
h_r = 0,50	0,40	0,30	0,214	0,20	0,187
x = 0,00	+ 0,415	+ 0,769	+ 0,968	+ 0,987	+ 1,0



Hình 12.51

Ở đây, trị số h_r lấy trực tiếp từ bảng cho các hoành độ x dương, còn đối với các x âm tương ứng, đại lượng h_r xác định bằng cách lấy một trừ đi h_r tương ứng với x âm. Ví dụ, khi x = + 0,415 theo bảng ta có h_r = 0,40, nên khi x = – 0,415 ta xác định h_r = 1,0 – 0,40 = 0,60, v.v... Biểu đồ áp suất vẽ trên hình 12.51.

Tổng áp lực thấm lên toàn bộ đường viền dưới đất bằng:

$$P_{th} = \gamma_d[ACBB'C'A'].$$

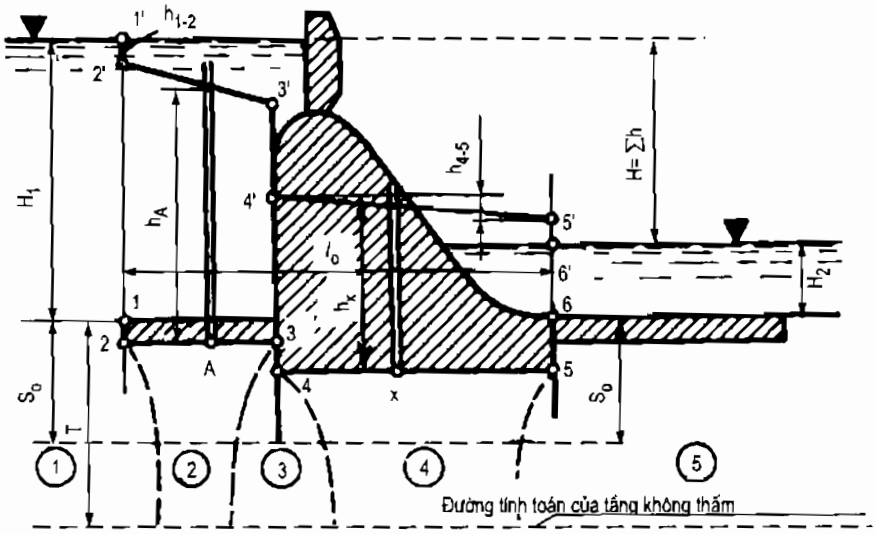
Áp lực đẩy nổi bằng: $P_y = \gamma_d[abB'C'A']$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

b) Tính toán thấm theo phương trình R. R. Tsugaep

Khu vực thấm dưới đập tràn (hình 12.53) giới hạn bởi hai đường dòng biên, một đường trùng với đường viền dưới đất của công trình, còn đường thứ hai theo đề nghị của R. R. Tsugaep trùng với đường mặt phẳng "tính toán" của tầng không thấm. Giả thiết là khu vực phía dưới của mặt phẳng tầng không thấm nói trên không có ảnh hưởng rõ rệt đến dòng thấm cơ bản đang xét. Sau đó đem chia đường viền dưới đất bằng các điểm đặc trưng 1, 2, 3, ... thành các đoạn (trên hình 12.52 chia thành năm đoạn) và từ các điểm đó vẽ các đường đẳng thế φ = const tương ứng, hoặc các đường đẳng cột nước vì $\varphi = -k_\varphi H$. Các đường φ = C chia khu vực thấm thành nhiều khu vực hay mảnh.



Hình 12.52

Ta thấy dọc đường viền dưới đất, từ một điểm này tới một điểm khác (hoặc từ một đường φ_i = C này đến một đường φ_{i+1} = C khác) có các tổn thất cột nước h_1, h_2, h_3, ..., h_n (trên hình vẽ cho đến h_5). Ở đây tổn thất cột nước tổng cộng sẽ bằng:

$$H = \Sigma h$$

trong đó: H - hiệu số giữa các cao trình thượng và hạ lưu.

Tổn thất cột nước trên từng đoạn được xác định theo định luật Đacxi, tức là theo công thức:

$$Q = k_\varphi \omega \frac{h}{L}$$

mà cụ thể là:

$$h = \frac{Q}{k_\varphi}\frac{L}{\omega} \qquad (12\text{-}88)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

trong đó:

Q, k_φ và h - lần lượt là lưu lượng thấm, hệ số thấm và tổn thất cột nước theo chiều dài từ một đường $\varphi_i = C_i$ này đến một đường $\varphi_{i+1} = C_{i+1}$ khác;

ω và L - diện tích quy ước và đường thấm của mỗi mảnh của khu vực thấm.

Kí hiệu $\xi = L/\omega$, ta có: $$h = \xi \frac{Q}{k_\varphi}$$

và lúc đó có thể viết: $$H = \Sigma h = \Sigma \xi \frac{Q}{k_\varphi} = \frac{Q}{k_\varphi} \Sigma \xi$$

Do đó, ta sẽ có biểu thức tính toán : $$h = \frac{Q}{k_\varphi} \Sigma \xi \qquad (12\text{-}89)$$

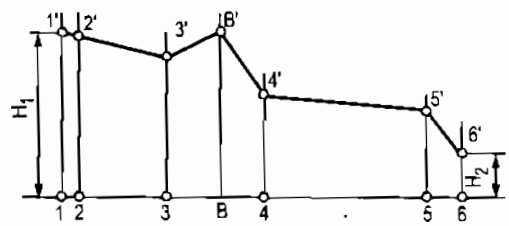
Ở đây hệ số ξ được gọi là hệ số sức cản.

Rõ ràng là nếu biết các hệ số sức cản ξ của tất cả các mảnh giới hạn bởi các đường đẳng cột nước (đường đẳng thế vận tốc φ = C), thì có thể giải đến cùng bài toán thấm dưới công trình đang xét.

Trình tự giải bài toán đó như sau, đầu tiên hãy xác định lưu lượng thấm theo các đại lượng đã biết như cột nước H và hệ số thấm k_φ cũng như hệ số sức cản, bằng công thức:

$$Q = \frac{k_\varphi H}{\Sigma \xi}$$

Sau đó lần lượt tính tổn thất cột nước và vẽ đường đo áp (1', 2', 3', ..., 5') (hình 12.52). Dùng đường đo áp đã vẽ, xác định áp lực của dòng thấm trên đường viền dưới đất của công trình. Do đó, tại điểm A áp suất sẽ bằng $p_A = \gamma/h_A$, trong đó tìm đại lượng h_A bằng cách đo đạc trên bản vẽ. Tương tự như trên có thể tìm áp suất tại mọi điểm bất kì, thí dụ tại điểm x: $p_x = \gamma h_x$. Người ta thường vẽ biểu đồ áp suất bằng cách kéo đường gãy khúc của đường viền dưới đất thành đường thẳng (hình 12.53).



Hình 12.53: *Biểu đồ áp suất dọc đường viền dưới đất của đập*

Ghi chú:

1. Dùng phương pháp nói trên của R. R. Tsugaep có thể xác định được cả vận tốc thấm tại điểm bất kì của khu vực thấm, tuy nhiên kết quả sẽ là gần đúng. Để xác định vận tốc thấm v tại điểm đang xét, cần vẽ qua điểm đó một đoạn đường dòng l_i cho đến giao điểm của nó với các đường φ = C kề bên, sau đó đo đoạn ấy trên bản vẽ, vận tốc thấm được xác định theo công thức:

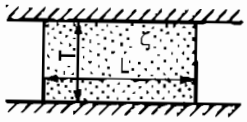
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

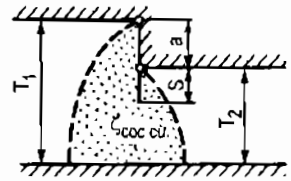
$$v = k_\varphi \frac{h_i}{l_i}$$

Thường để xác định trường vận tốc, ta sử dụng các phương pháp chính xác hơn, thí dụ phương pháp EGĐA và các phương pháp khác.

2. Để bổ sung, dưới đây sẽ trình bày các lời chỉ dẫn về cách xác định hệ số sức cản ξ cho một số mảnh đặc trưng nhất (hình 12.54 - 12.58). Trên các hình vẽ này đã cho các dạng tính toán khác nhau của các mảnh và các công thức dùng để tính các hệ số ξ tương ứng.

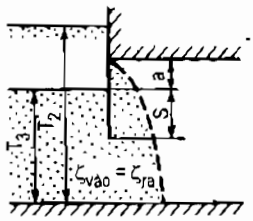


Hình 12.54: *Về xác định hệ số ξ. Khi chảy song song* $\xi = L/T$

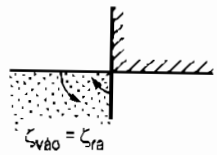


Hình 12.55: *Về xác định ξ. Khi có bản cọc phía trong, nếu* $0,5 \le T_2/T_1 \le 1,0$ *và* $0,8 < s/T_2 < 0,96$, *thì* $\xi_{bc} = a/T_2 + 12(s/T_1 - 0,8) + 2,2$; *nếu* $0 < s/T_2 < 0,8$ *thì*

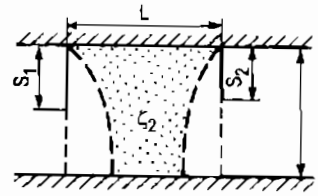
$$\xi_{bc} = a/T_1 + s/T_2\left(1,5 + \frac{0,5T_2}{T_2 - 0,75}\right)$$



Hình 12.56: *Về xác định ξ. Khi có bản cọc phía trên* $\xi_{vao} = \xi_{ra} = \xi_{bc} + 0,44$. *Nếu* $s = 0$, *thì* $\xi_{vao} = \xi_{ra} = a/T_1 + 0,44$



Hình 12.57: *Về xác định ξ. Khi có bản cọc phía trên* $\xi_{vao} = \xi_{ra} = 0,44$



Hình 12.58: *Về xác định ξ. Chi tiết nằm ngang khi có bản cọc, nếu* $l > 0,5(s_1 + s_2)$, *thì*

$$\xi_2 = \frac{l - 0,5(s_1 + s_2)}{T};$$

nếu $l < 0,5(s_1 + s_2)$, *thì* $\xi_2 = 0$

Chiều sâu của đường tính toán của tầng không thấm, theo đề nghị của R. R. Tsugaep, được xác định như sau:

Trước hết xác định chiều sâu của cái gọi là khu vực hoạt động T_{hd}, sau đó đem so sánh với chiều sâu của tầng không thấm thực T_{th}. Nếu T_{hd} nhỏ hơn T_{th}, thì dùng T_{hd} làm chiều sâu tính toán của tầng không thấm và ngược lại.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Do đó có thể viết:

nếu $T'_{hđ} \geq T_{th}$, thì $T'_{tt} = T_{th}$

nếu $T'_{hđ} \leq T_{th}$, thì $T'_{tt} = T_{th}$

Đại lượng $T'_{hđ}$ của khu hoạt động được xác định riêng cho ba bài toán cơ bản khác nhau (theo R. R. Tsugaep).

a) Khi vẽ biểu đồ phản áp lực cho các chi tiết nằm ngang của đường viền dưới đất hoặc vẽ đường đo áp, chiều sâu $T'_{hđ}$ của khu hoạt động sẽ bằng (hình 12.52):

Khi $l_o/S_o \geq 5$, $T'_{hđ} = 0,5l_o$; Khi $5 \geq l_o/S_o \geq 3,4$, $T'_{hđ} = 2,5S_o$;

Khi $3,4 \geq l_o/S_o \geq 1,0$, $T'_{hđ} = 0,8S_o + 0,5l_o$;

Khi $1,0 \geq l_o/S_o \geq 0,0$, $T'_{hđ} = S_o + 0,3l_o$.

b) Khi xác định độ dốc đo áp ra lớn nhất trên bề mặt đáy hạ lưu, khu vực hoạt động sẽ là $T''_{hđ} = 2T'_{hđ}$.

c) Khi xác định lưu lượng thấm tại nền đập, chiều sâu tính toán của tầng không thấm T''_{tt} lấy bằng chiều sâu thực tế của tầng không thấm, tức là: $T''_{tt} = T_{th}$.

3. Chi tiết về cách tính toán thấm theo phương pháp R. R. Tsugaep xem trong TYuH 125-57 của Bộ Điện Liên Xô, 1958.

c) Phương pháp thấm đường viền

Trong thực tế xây dựng công trình thủy lợi từ lâu người ta đã xem là tổn thất cột nước H tỉ lệ thuận với chiều dài đường viền dưới đất L, còn vận tốc thấm dọc đường viền bằng:

$$v = k\frac{H}{L} \qquad (12\text{-}90)$$

Khi đã cho một độ chênh nhất định $H = H_1 - H_2$ của cao trình mặt thoáng thượng và hạ lưu, thì vận tốc thấm sẽ giảm khi chiều dài đường viền dưới đất L tăng lên. Do vậy, để cho công trình được an toàn (về mặt xói đất dưới công trình) thì chiều dài đường viền dưới đất phải khác nhau tùy thuộc vào đặc tính của đất, vào khả năng chống xói của nó.

Do dựa trên cơ sở kinh nghiệm khai thác nhiều công trình, mà công thức Blaia đã được dùng rộng rãi. Theo công thức đó, chiều dài an toàn của đường viền dưới đất được tính như sau:

$$L \geq CH \qquad (12\text{-}91)$$

trong đó: C - hệ số phụ thuộc vào tính chất của đất (bảng 12.22).

Sau này còn xét thêm đường thấm thẳng đứng bằng "chiều dài dẫn suất" (nó bằng ba lần chiều dài đường thẳng đứng). Các đường xiên với góc lớn hơn 45° so với đường nằm ngang được xem là thẳng đứng, còn khi nhỏ hơn 45° - nằm ngang.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 12.22. Các giá trị hệ số C để xác định chiều dài theo phương pháp thấm đường viền

Tên đất	C	I_{tb}
Bùn và cát mịn	18	0,055
Cát hạt nhỏ	15	0,067
Cát hạt thô	12	0,083
Sỏi và cát lẫn sỏi	5 - 9	0,11 - 0,20
Hoàng thổ, đất sét	6 - 9	0,11 - 0,17
Đá dăm, hỗn hợp giữa cuội và cát	4 - 6	0,11 - 0,25

Chiều dài dẫn suất bé nhất cần thiết của đường viền dưới đất của công trình trong trường hợp này sẽ bằng:

$$L_{\upsilon} = L_d + \frac{1}{3}L_{ng} \geq C_{\upsilon}H \qquad (12\text{-}92)$$

trong đó: L_d - chiều dài của đường đứng;

L_{ng} - chiều đài của đường ngang;

các giá trị C_{υ} cho trong bảng 12.23[1].

Bảng 12.23. Các giá trị hệ số C_{υ} trong phương pháp thấm đường viền cải biên

Tên đất	C_{υ}	I_{tb}
Cát rất mịn, bùn	8,5	0,12
Cát hạt nhỏ	7,0	0,14
Cát hạt trung bình	6,0	0,17
Cát hạt lớn	5,0	0,20
Sỏi nhỏ	4,0	0,25
Sỏi hạt trung bình	3,5	0,29
Cát hạt lớn lẫn sỏi	3,0	0,33
Đất sét mềm	3,0	0,33
Đá tảng lẫn sỏi và cuội	2,5	0,40
Đất sét độ chặt trung bình	2,0	0,50
Đất sét chặt	1,8	0,55
Đất sét rất chặt	1,6	0,67

[1] Áp suất lên tấm đáy xác định theo phương pháp thấm đường viền, trong nhiều trường hợp sẽ khác rất xa với kết quả giải chính xác theo N. N. Pavlôpxki. Phương pháp thấm đường viền vì rất đơn giản nên được dùng rộng rãi trong thực tế. Tuy nhiên chỉ nên dùng cho trường hợp tính sơ bộ gần đúng thô và ngoài ra chỉ dùng cho trường hợp đặt tấm đáy không có bản cọc.

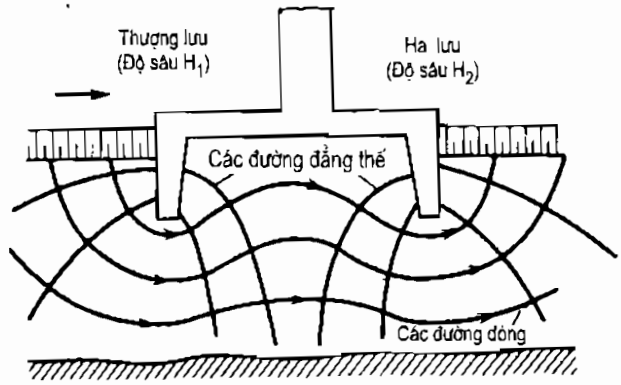
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

12.9. THẤM VÒNG QUANH CÁC CÔNG TRÌNH THỦY LỢI (theo V. I. Aravin)

Nếu trụ biên cắm sâu xuống tầng không thấm thì có thể xem bài toán thấm vòng quanh là bài toán phẳng và tiến hành tính toán như sau:

1. Vẽ bình diện của trụ biên, bờ và ranh giới của lớp đất thấm nước ở bờ (hình 12.59). Sau đó, giả thiết là đường mép nước ở thượng lưu là đường đẳng thế đầu tiên φ_o, còn ở hạ lưu - đường φ cuối cùng, rồi lấy đường viền trụ biên làm đường dòng, về lưới chuyển động theo một trong các phương pháp đã biết.



Hình 12.59

2. Theo lưới chuyển động, các đường đẳng cột nước sẽ là các đường đẳng cao trình của mặt tự do của dòng thấm quanh công trình.

3. Vận tốc thấm trên cùng một đường thẳng đứng ở tất cả các chiều sâu đều bằng nhau và được xác định theo công thức:

$$v = k\frac{\Delta H}{\Delta s} \qquad (12\text{-}93)$$

trong đó: k - hệ số thấm;

$\Delta H/\Delta s$ - gradien thủy lực đặc trưng cho sự thay đổi chiều sâu của dòng chảy H trên đoạn Δs dọc đường dòng.

4. Lưu lượng thấm qua mặt cắt ở giữa hai đường dòng trên khoảng cách Δl được xác định theo công thức:

$$\Delta Q = v\Delta bh \qquad (12\text{-}94)$$

trong đó: Δb - khoảng cách giữa hai đường dòng.

Lưu lượng thấm toàn phần:

$$Q = \Sigma v\Delta bh \qquad (12\text{-}95)$$

trong đó: h - chiều sâu dòng thấm tại chỗ đang xét của lưới chuyển động.

5. Áp suất thấm lên trụ được xác định như áp suất thủy tĩnh ở chiều sâu mực nước h theo phương thẳng đứng, còn sự thay đổi áp suất dọc đường viền sẽ xác định trên lưới chuyển động vẽ cho trụ. Do đó lực tác dụng lên các mặt trụ được xác định bằng thể tích biểu đồ áp suất lên mặt.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Chương 13

CHUYỂN ĐỘNG CỦA CHẤT LỎNG CÓ LƯU LƯỢNG THAY ĐỔI[1]

13.1. PHƯƠNG TRÌNH CƠ BẢN

Phương trình cơ bản của chuyển động ổn định có lưu lượng thay đổi dọc đường khi chỉ có sự nhập dòng hoặc chỉ có tách dòng, có thể viết như sau (theo I. M. Kônôvalôp).

$$\frac{1}{g}\int\frac{(1-n)}{\omega}vdQ+\frac{v^2}{2g}+\frac{p}{\gamma}+z+h_w=\text{const} \qquad (13\text{-}1)$$

trong đó:

$n = v_l/v$ - tỉ số giữa hình chiếu của vận tốc toàn phần của khối nhập dòng (hoặc tách dòng) lên phương chuyển động và vận tốc của dòng chủ; nếu khối nhập dòng chuyển động thẳng góc với dòng chủ thì $v_l = 0$ và $n = 0$;

dQ và ω - sự thay đổi lưu lượng trên chiều dài ds và diện tích mặt cắt ướt của dòng chủ;

h_w - cột nước tổn thất.

Đối với lòng dẫn hở dạng không lăng trụ, phương trình cơ bản dưới dạng vi phân có thể viết như sau:

$$\frac{dh}{ds}=\frac{-k\dfrac{Q}{g\omega^2}\cdot\dfrac{dQ}{ds}+\dfrac{Q^2}{g\omega^3}\cdot\dfrac{\partial\omega}{\partial s}+i-J}{1-\dfrac{Q^2}{g\omega^3}\beta} \qquad (13\text{-}2)$$

Đối với dạng lăng trụ $\dfrac{\partial\omega}{\partial s}=0$ và do đó:

---

[1] Lí thuyết về chuyển động của chất lỏng có lưu lượng thay đổi dọc đường vẫn chưa được phát triển đầy đủ. Các tài liệu dẫn ra trong cuốn Sổ tay này cần phải xem là các phương pháp giải gần đúng, dùng cho trường hợp tính toán sơ bộ và phân tích định tính hiện tượng. Các tính toán thiết kế cần được kiểm tra trong các phòng thí nghiệm thủy lực.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$\frac{dh}{ds} = \frac{-k\frac{Q}{g\omega^2}\cdot\frac{dQ}{ds} + i - J}{1 - \frac{Q^2}{g\omega^3}B} \qquad (13\text{-}3)$$

Ở đây $k = (2 - v_1/v)$.

Các phương trình (13-2) và (13-3) trong trường hợp $dQ/ds = 0$, tức là khi Q không đổi, sẽ trở về dạng phương trình thông thường của chuyển động không đều:

$$\frac{dh}{ds} = \frac{\frac{Q^2}{g\omega^3}\cdot\frac{\partial\omega}{\partial s} + i - J}{1 - \frac{Q^3}{g\omega^3}B} \quad \text{và} \quad \frac{dh}{ds} = \frac{i - J}{1 - \frac{Q^2}{g\omega^3}B} \qquad (13\text{-}4)$$

Đối với các đường ống "có áp" kín, trong các điều kiện k = const, phương trình cơ bản có dạng:

$$k\frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + z + h = \text{const} \qquad (13\text{-}5)$$

hoặc ở dạng vi phân:

$$k\frac{vdv}{g} + d\left(\frac{p}{\gamma} + z\right) + \frac{Q^2}{K^2}ds = 0 \qquad (13\text{-}5')$$

trong đó: $K = \omega C\sqrt{R}$ - đặc trưng lưu lượng.

13.2. DẠNG ĐƯỜNG MẶT NƯỚC TỰ DO TRONG LÒNG DẪN HỞ[1]

Dạng đường mặt nước tự do phụ thuộc vào tỉ số định lượng của các lực tác dụng và các điều kiện bên ngoài và có thể có nhiều dạng rất khác nhau.

Đối với lòng dẫn lăng trụ, các dạng cơ bản của đường mặt nước tự do được thể hiện trên các hình 13.1 và 13.2.

Trong các điều kiện giới hạn có thể xảy ra $dh/ds = 0$ và $dh/ds = \pm\infty$. Khi $dh/ds = 0$, dấu của đạo hàm dh/ds có thể thay đổi. Trong thực tế, trường hợp lí thú nhất là khi $h > h_0$ (hình 13.1a và b).

---

[1] Kixêlep P. G. Quy luật thay đổi chiều sâu trong kênh lăng trụ ở đoạn đập tràn bên. Luận án phó tiến sĩ khoa học kĩ thuật 1942.

A. N. Patrasep (Chuyển động của chất lỏng trong kênh có lưu lượng thay đổi dọc đường, 1940) và G. A. Petrôp (Chuyển động của dòng chảy có lưu lương thay đổi dọc dòng chảy, 1950) đã chỉ ra các điều kiện chính xác hơn để hình thành các đường cong nước dâng và nước hạ.

https://tieulun.hopto.org

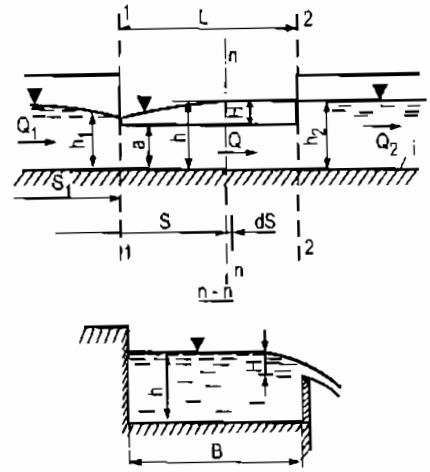
www.thuvien247.net

13.3. CÁC TRƯỜNG HỢP RIÊNG CỦA CHUYỂN ĐỘNG CHẤT LỎNG CÓ LƯU LƯỢNG THAY ĐỔI

a) Kênh có đập tràn bên (theo P. G. Kixêlep)

Đặc tính của dòng chảy tràn qua đập tràn bên là sự thay đổi lưu lượng q dọc theo ngưỡng đập do trị số cột nước H thay đổi theo mực nước của mặt thoáng trong kênh.

Đối với kênh lăng trụ, đường mặt nước tự do hay có dạng ghi trên hình 13.3. Trong trường hợp này, phía trên đập tràn trong kênh có "đường nước hạ", còn phía dưới đập tràn - hoặc là chuyển động đều với chiều sâu $h_2 = h_o$ hoặc là chuyển động không đều với chiều sâu sau đập tràn h_2 được xác định theo các điều kiện hạ lưu (thí dụ, ở hạ lưu có nước dâng) và không phụ thuộc vào đập tràn bên.



Hình 13.3

Việc tính toán đập tràn bên dẫn đến việc xác định lưu lượng Q_{trb} hoặc chiều dài ngưỡng đập L; trong cả hai trường hợp, việc tính toán đều có quan hệ với việc xác định chiều sâu mực nước trong kênh. Phương pháp cơ bản để giải bài toán này là tính toán theo phương trình (13-2), còn đối với lòng dẫn lăng trụ - theo phương trình (13-3). Tuy nhiên, do khối lượng tính toán lớn nên trong thực tế thường sử dụng các phương pháp gần đúng và các công thức thực nghiệm.

1. Tính toán theo phương trình cơ bản

Đối với đập tràn bên trong kênh lăng trụ, mặt cắt chữ nhật (hình 13.4), phương trình cơ bản dưới dạng sai phân là:

$$\frac{\Delta h}{\Delta s} = \frac{k\dfrac{Q}{gB^2h^2}m\sqrt{2g}H^{3/2} + i - \dfrac{Q^2}{K^2}}{1 - \left(\dfrac{h_{pg}}{h}\right)^3} \qquad (13\text{-}6)$$

trong đó:

Δh - hiệu giữa các chiều sâu ở hai đầu của kênh, nó bằng ΔH - hiệu giữa các cột nước ở hai đầu đập tràn đối với đoạn tính toán có chiều dài Δs;

Δs - chiều dài đoạn tính toán;

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

k - hệ số (nhỏ hơn 2,0) mà trước khi xác định được bằng thực nghiệm có thể lấy gần đúng bằng 1,5 - 1,75;

B - chiều rộng kênh;

m - hệ số lưu lượng của đập tràn được chọn tùy thuộc vào hình dạng mặt cắt của nó (xem chương 6);

H, Q, h, K và h_{pg} - cột nước trên đập tràn, lưu lượng, chiều sâu, đặc trưng lưu lượng và chiều sâu phân giới của kênh, lấy trung bình cho đoạn tính toán có chiều dài Δs.

Việc tính toán tiến hành theo các đoạn kênh, bắt đầu từ phía hạ lưu.

Sơ đồ tính toán chung. Xác định chiều sâu của kênh h_2 ở mặt cắt cuối (theo công thức $Q = \omega_2 C_2 \sqrt{R_2 i}$) và cột nước tương ứng cuối ở trên đập tràn $H_2 = h_2 - a$, trong đó a - chiều cao ngưỡng đập đáy kênh.

Sau đó cho các độ chênh về chiều sâu Δh ở mặt cắt đầu và cuối của đoạn thứ nhất của kênh hoặc cũng vậy ΔH - hiệu số cột nước trên đập, vì $\Delta h = \Delta H$ (hình 13.4) rồi xác định Δs_1 (khi đã cho các trị số $\Delta s_1'$, $\Delta s_1''$, $\Delta s_1'''$ ...) sao cho các trị này thỏa mãn phương trình (13-6). Sau khi tìm được chiều dài của đoạn thứ nhất Δs_1, ta chuyển sang tính toán đoạn tiếp theo (ngược chiều chảy) và v.v... Tính toán sẽ kết thúc khi tổng số lưu lượng của các đoạn riêng biệt của đập tràn bên bằng lưu lượng đã cho, tức là khi:

$$\Delta Q_1 + \Delta Q_2 + ... + \Delta Q_n = \Sigma \Delta Q = Q_{trb} \qquad (13\text{-}7)$$

Chiều dài cần tìm của đập tràn sẽ là tổng

$$L = \Delta s_1 + \Delta s_2 + ... \Delta s_n = \Sigma \Delta s \qquad (13\text{-}8)$$

Để giảm khối lượng tính toán, nên vẽ trước các đồ thị bổ trợ như:

1- $q_{trb} = m\sqrt{2g}H^{3/2} = f_1(H)$ - đường cong lưu lượng trên 1m dài của đập tràn bên (trong phạm vi H = 0 và $H = H_2$, trong đó H_2 - cột nước tại mặt cắt cuối);

2- $K = \omega C\sqrt{R} = f_2(h)$ - đường cong đặc trưng lưu lượng của kênh (trong phạm vi h = a và $h = h_2$, trong đó a - chiều cao ngưỡng và h_2 - chiều sâu trong kênh tại cuối đập);

3- $h_{pg} = \sqrt[3]{\frac{\alpha Q^2}{gB^2}} = f(Q)$ - đường cong của chiều sâu phân giới của kênh (trong phạm vi $Q = Q_1$ và $Q = Q_2$, trong đó Q_1 và Q_2 - các lưu lượng đã cho trong kênh tại đầu và cuối đập tràn bên).

https://tieulun.hopto.org

Bảng 13.1. Tính toán đập tràn bên (bảng các công thức tính toán)

Số thứ tự đoạn	Số thứ tự mặt cắt ngang của kênh	h_2 (m)	Δh (m)	H_{tb} (m)	Lương lượng riêng đập tràn q (m^3/s)	Chiều dài của đoạn Δs (m)	Lưu lượng đập tràn bên của từng đoạn $\Delta Q = q\Delta s$ (m^3/s)	Lưu lượng kênh $Q_{tb} = Q_2 - \Delta Q/2$ (m^3/s)	Độ sâu kênh $h_{tb} = h_2 - \Delta h/2$ (m)	$N = k\frac{m\sqrt{2g}}{g}H_{tb}^{3/2}$
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	0 1	$h_{2,0}$ $h_{2,1}$	(Tự cho) h_1		(Tự cho) s_2					

Số hạng đầu tiên của tử số $N = \frac{Q_{tb}}{\omega_{tb}^2}$	Đặc trưng lưu lượng K_{tb} (m^3/s)	Độ dốc thủy lực $J = \left(\frac{Q_{tb}}{K}\right)^2$	Tử số $N\frac{Q_{tb}}{\omega_{tb}^2} + i - J$	Độ sâu phân giới của kênh (trung bình) $h_{pgtb} = \frac{h'_{pg} + h''_{pg}}{2}$ (m)	Mẫu số $1 - \left(\frac{h_{pgtb}}{h_{tb}}\right)^3$	Độ dốc mặt nước $\left(J_p = \frac{\text{Tử số}}{\text{Mẫu số}}\right)$	Chiều dài đoạn tính theo công thức (13-6) $\Delta s_1 = \frac{\Delta h}{J_p}$	Ghi chú
11	12	13	14	15	16	17	18	19
							(Tìm ra $\Delta s'_1$)	Nếu tìm ra $\Delta s'_1 = \Delta s_1$ thì tính tiếp sang đoạn thứ 2

www.thuvien247.net

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Để thuận tiện, nên tiến hành tính toán theo bảng (xem bảng 13.1) bắt đầu từ mặt cắt O (cuối đập tràn) với chiều sâu đã biết h_2 (tại cuối đập tràn) và hiệu số chiều sâu Δh đã chọn.

Tính cột nước trung bình của đập tràn bên cho đoạn đang xét $H_{tb} = H_2 \pm \Delta h/2$ rồi ghi kết quả vào cột tương ứng

Lưu lượng đơn vị của đập tràn bên q ứng với cột nước H_{tb} lấy theo đồ thị bổ trợ đã vẽ như đã nói trên.

Lấy một đoạn có chiều dài bất kì (để tính thử dần) Δs_1, rồi tìm lưu lượng đập tràn bên của đoạn đang xét $\Delta Q = q\Delta s_1$ và lưu lượng trung bình của kênh $Q_{tb} = Q_2 = \Delta Q/2$.

Tìm chiều sâu trung bình của mực nước trong kênh $h_{tb} = h_2 + \Delta h/2$.

Tính số bổ trợ:
$$n = k\frac{m\sqrt{2g}}{g}H_b^{3/2} = \frac{k}{g}$$

sau đó tính trị số của số hạng thứ nhất của tử số $N\dfrac{Q_{tb}}{\omega_{tb}^2}$.

Theo công thức $\Delta s_1' = \Delta h / J_p$ tương ứng với hiệu số chiều sâu đã chọn (tùy ý) ở đầu và cuối đoạn ($\Delta h = \Delta H$) và độ dốc J_p đã tính, ta tính ra chiều dài của đoạn tính toán. Nếu $\Delta s_1'$ bằng Δs_1 (lấy sơ bộ ban đầu), thì xem việc tính toán đoạn đang xét là đã kết thúc và chuyển sang tính đoạn tiếp theo. Trong trường hợp ngược lại cần lặp lại các tính toán với trị số Δs_1 mới (tự chọn).

Ghi chú: Tính toán sẽ càng chính xác, nếu hiệu số chiều sâu Δh càng bé.

2. Phương pháp tính theo "cột nước trung bình"

Trong thực tế, đập tràn bên thường được tính toán theo "cột nước trung bình". Trong trường hợp này, đối với kênh dạng lăng trụ ta có hai phương trình:

$$\left.\begin{aligned} Q_{trb} &= mL\sqrt{2g}H_b^{3/2} \\ h_1 + \frac{Q_1^2}{2g\omega_1^2} &= h_2 + \frac{Q_2^2}{2g\omega_2^2} + \left(\frac{Q_{tb}^2}{K_b^2} - i\right)L \end{aligned}\right\} \qquad (13\text{-}9)$$

hoặc nếu không xét đến sức cản thủy lực trên chiều dài của kênh:

$$\left.\begin{aligned} Q_{trb} &= mL\sqrt{2g}H_b^{3/2} \\ h_1 + \frac{Q_1^2}{2g\omega_1^2} &= h_2 + \frac{Q_2^2}{2g\omega_2^2} - iL \end{aligned}\right\} \qquad (13\text{-}10)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

trong đó:

Q_1 và Q_2 - lưu lượng kênh trước đập tràn và sau đập tràn (hình 13.4);

Q_b - lưu lượng trung bình bằng $\frac{Q_1 + Q_2}{2}$;

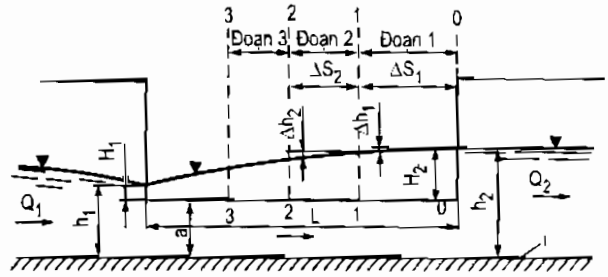
$Q_{trb} = Q_t - Q_2$ - lưu lượng đập tràn bên;

m - hệ số lưu lượng của đập tràn bên có giá trị lấy theo hình dạng mặt cắt của tường tràn (xem chương 6) như đối với đập tràn thông thường;

L - chiều dài của đập tràn bên;

i - độ dốc đáy kênh;

h_1, h_2, ω_1 và ω_2 - chiều sâu và diện tích của mặt cắt ướt của kênh ở đầu và cuối đập tràn;



Hình 13.4

H_1 và H_2 - cột nước ở đầu và cuối đập tràn;

H_{tb} - cột nước trung bình bằng $\frac{H_1 + H_2}{2}$ (hình 13.4),

trong đó: $H_1 = h - a$ và $H_2 = h_2 - a$ (a - chiều cao ngưỡng tính từ đáy kênh)

$K_{tb} = \frac{K_1 + K_2}{2}$ - đặc trưng lưu lượng trung bình của kênh, ở đây K_1 và K_2 - các đặc trưng lưu lượng của kênh ứng với các chiều sâu h_1 và h_2.

Ghi chú: Đặc trưng lưu lượng trung bình K_{tb} có thể tính theo công thức:

$$K_{tb} = \omega_{tb} C_{tb} \sqrt{R_{tb}}$$

trong đó: $\omega_{tb} = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}$; $C_{tb} = \frac{C_1 + C_2}{2}$ và $R_{tb} = \frac{R_1 + R_2}{2}$.

Chiều dài của ngưỡng đập tràn được xác định bằng cách giải kết hợp hai phương trình (13-9), vì cột nước H_1 là chưa biết và không thể xác định độc lập với tính toán đập tràn. Tính theo các phương trình này sẽ có sai số, không thể biết trị số và dấu (+ hoặc –) nếu không tính kiểm tra theo phương trình cơ bản (như đã nói ở trên).

Để có các kết quả chính xác và đáng tin cậy hơn, khi tính bằng phương pháp cột nước trung bình nên tiến hành tính toán theo các đoạn, bắt đầu từ đoạn thấp nhất. Trình tự tính toán có thể, thí dụ như sau: đối với đoạn tính toán (thấp nhất theo

https://tieulun.hopto.org

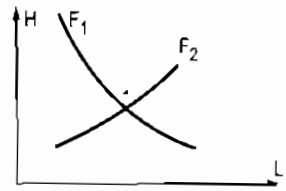
www.thuvien247.net

chiều chảy), hãy chọn giá trị lưu lượng $\Delta Q^{(1)}$ và giả thiết là tất cả các đại lượng, trừ ΔL và H_1, đều là đã biết, rồi giải hệ phương trình (13-10) đối với ΔL. Ta sẽ có hai phương trình:

$$\Delta L = F_1(H_1) \; ; \; \Delta L = F_2(H_2) \qquad (13\text{-}10')$$

Giải chúng với các giá trị tự cho H_1', H_1'', H_1''', ... và tìm các đại lượng tương ứng $\Delta L'$, $\Delta L''$, $\Delta L'''$, ... theo phương trình thứ nhất và phương trình thứ hai. Theo đó vẽ được hai đường cong F_1 và F_2 (hình 13.5), giao điểm của chúng cho ta trị số ΔL và H_1 (nghiệm của hệ) ứng với đoạn đang xét với lưu lượng ΔQ đã chọn của đập tràn bên. Tiếp đó ta chuyển sang đoạn sau, mà cột nước cuối cùng H_2 sẽ bằng cột nước ban đầu H_1 vừa tìm được của đoạn tính toán thứ nhất v.v...

Chỉ cho phép sử dụng hệ phương trình (13-10), tức là giải bài toán không xét đến sức cản thủy lực, đối với các đập tràn ngắn và nằm trong phạm vi các giới hạn sẽ chỉ ra ở dưới đây. Ngoài ra, trong trường hợp này nếu lấy iL = 0, thì quá trình tính toán sẽ đơn giản đi nhiều, vì chiều sâu h_2 tìm trực tiếp theo phương trình (13-9), sau đó tìm cột nước $H_2 = h_2 - a$.



Hình 13.5

3. Phương pháp tính toán theo điều kiện năng lượng đơn vị của mặt cắt không đổi

Giả thiết là dọc kênh, trên cả chiều dài đập tràn bên, có điều kiện $\mathfrak{Э} = h + \frac{v^2}{2g} = \text{const}$ (tức là $i = i_n$). Khi đó phương trình cơ bản (13-3) của kênh lăng trụ có dạng:

$$\frac{dh}{ds} = \frac{k\omega Qm\sqrt{2gH}}{g\omega^3 - Q^2B} \qquad (13\text{-}11)$$

còn tích phân của nó có thể viết:

$$s_2 - s_1 = L = \varphi(h_2) - \varphi(h_1) \qquad (13\text{-}12)$$

Tích phân này, đối với mặt cắt hình thang đã được I. M. Kônôvalôp và X. A. Rutnhep tìm thấy, nhưng các công thức tính toán có dạng phức tạp và không tiện lợi trong thực tế.

Đơ Macki đã tìm được tích phân cho mặt cắt chữ nhật và phương trình có dạng sau:

$$L = \frac{B}{m}\left[\Phi\left(\frac{h_2}{\mathfrak{Э}}\right) - \Phi\left(\frac{h_1}{\mathfrak{Э}}\right)\right] \qquad (13\text{-}12')$$

---

(1) $\Delta Q = Q' - Q_2 < Q_{trh}$ trong đó Q' - lưu lượng kênh tại mặt cắt đầu của đoạn tính toán.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

trong đó:

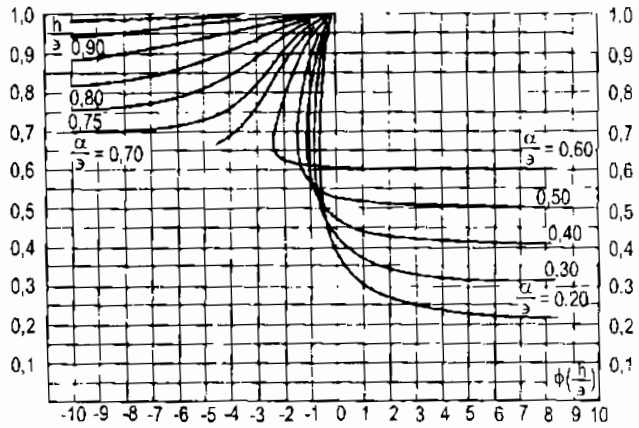
B - chiều rộng kênh;

m - hệ số lưu lượng của đập tràn, còn các giá trị của hàm số Φ (h/Э) lấy từ đồ thị Đơ Macki (hình 13.6)[1] tùy thuộc vào tỉ số (a/Э) (a - chiều cao của ngưỡng đập tràn).

Việc tính toán theo công thức này cùng với việc sử dụng đồ thị tuy rất đơn giản, nhưng trong nhiều trường hợp việc tra cứu đồ thị (hình 13.6) hay gặp khó khăn và không đạt độ chính xác mong muốn.

Khi sử dụng phương pháp này, cũng như phương pháp trên bằng phương trình (13-10) với iL = 0, ta gặp hai điều kiện hạn chế.

Hạn chế thứ nhất. Lưu lượng kênh ở trước đập tràn Q_1 không được vượt quá trị số giới hạn Q_{gh}, mà tỉ năng nhỏ nhất của nó bằng tỉ năng của lưu lượng Q_2 sau đập tràn.



Hình 13.6: *Các giá trị của hàm $\Phi_1(h/Э)$ ứng với các giá trị khác nhau của tỉ số (a/Э)*

Đối với kênh dạng chữ nhật, có thể biểu thị điều kiện hạn chế đó như sau:

$$Q_1 \le Q_{gh} = B\sqrt{g\left(\frac{2}{3}Э_2\right)^3} = 1{,}71B\left(h_2 + \frac{v_2^2}{2g}\right)^{3/2} \qquad (13\text{-}13)$$

trong đó: B - chiều rộng kênh;

h_2 và v_2 - chiều sâu và vận tốc trong kênh sau đập tràn.

Hạn chế thứ hai. Chiều sâu h_1 trong kênh trước đập tràn xác định theo phương trình:

$$h_1 + \frac{Q_1^2}{2g\omega_1^2} = h_2 + \frac{Q_2^2}{2g\omega_2^2}$$

không được nhỏ hơn độ cao a đã cho của ngưỡng đập tràn, tức là cần thỏa mãn điều kiện:

---

[1] Đồ thị lấy từ sách "Thủy lực" của V. M. Makavep và I. M. Konovalôp, M. 1940.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$h_1 > a \qquad (13\text{-}14)$$

Nếu hai điều kiện đã nêu (13-13) và (13-14) không được thỏa mãn thì không thể tính toán theo hệ phương trình (13-10) cũng như theo (13-12).

Thí dụ: Một kênh mặt cắt chữ nhật có chiều rộng B = 20m, độ dốc i = 0,001, có lưu lượng $Q_1 = 59,2\ m^3/s$. Đập tràn bên có ngưỡng cao a = 1,10m, cần tháo $Q_{trb} = 20\ m^3/s$.

Giải:

1- Lưu lượng sau đập ở trong kênh $Q_2 = Q_1 - Q_{trb} = 39,2\ m^3/s$. Tương ứng, độ sâu sau đập tràn bằng $h_2 = 1,4m$ và tỉ năng mặt cắt bằng:

$$э = h_2 + \frac{Q_2^2}{2g\omega_2^2} = 1,4 + \frac{39,2^2}{2.10^2.1,4^2} = 5,32m$$

2- Ta xác định khả năng áp dụng phương pháp tính toán nêu trên.

Hạn chế thứ nhất:

$$Q_{gh} > Q = 59,2\ m^3/s$$

$$Q_{gh} = 1,71B.э_2.\sqrt{э_2} = 1,71.20.5,32\sqrt{5,32} = 419,38 \geq Q$$

và do đó hạn chế thứ nhất được thỏa mãn.

Hạn chế thứ hai: $h_1 > a$. Ta tìm h_1 từ phương trình

$$h_1 + \frac{Q_1^2}{2gB^2h_1^2} = h_2 + \frac{Q_2^2}{2g(Bh_2)^2} = 1,4 + \frac{39,2^2}{2g(20.1,4)^2} = 1,5$$

và do đó:

$$h_1 + \frac{Q_1^2}{2g(Bh_1^2)} = 1,5$$

Giải phương trình đó bằng thử dần, ta tìm được $h_1 = 0,97m$, tức là nhỏ hơn độ cao ngưỡng a đã cho (a = 1,1m). Hạn chế thứ hai không được thỏa mãn, do đó không thể áp dụng phương pháp tính toán nêu trên được.

Nếu đập tràn bên đặt trong kênh phi lăng trụ, thì các công thức nói trên không dùng được.

4. Phương pháp I. M. Kônôvalôp

Đối với trường hợp đặc biệt khi cột nước H sau đập và chiều sâu trong kênh h cố định, I. M. Kônôvalôp xem chiều rộng kênh thay đổi theo quy luật đường thẳng. Lúc đó chiều dài của đập tràn bên bằng:

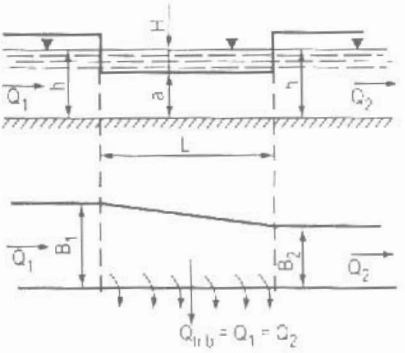
$$L = \frac{Q_{trb}}{m\sqrt{2g}H^{3/2}} \qquad (13\text{-}15)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Ở đây dùng giả thiết v = const trên suốt dọc đường và chiều rộng sau đập tương ứng bằng (hình 13.7)

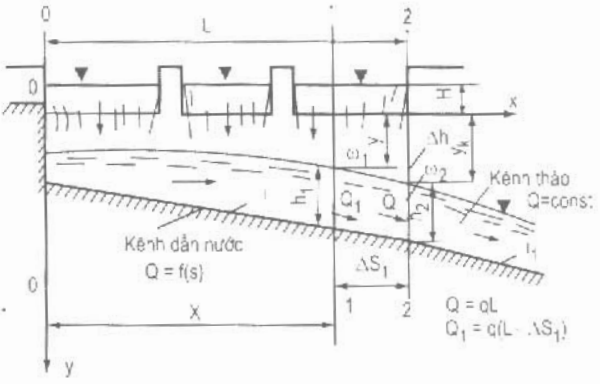
$$B_2 = B_1 \frac{Q_2}{Q_1} \qquad (13\text{-}16)$$



Hình 13.7

b) Kênh có nước chảy vào ở bên cạnh

Trong thực tế thường dùng kênh bên để dẫn nước từ đập tràn vào (hình 13.8). Thường trong các điều kiện như vậy, ngưỡng đập tràn hầu hết đặt song song với trục kênh dẫn, còn đặt xiên một góc α thì ít hơn. Cao trình đáy kênh có thể khác nhau, nhưng tốt nhất là cao trình đó không làm phát sinh hiện tượng chảy ngập ở đập tràn, vì như thế sẽ làm khả năng thoát nước của đập giảm xuống.



Hình 13.8

Kênh dẫn đi có thể có mặt cắt biến đổi hay không đổi, có độ dốc cố định hay thay đổi (những vấn đề này được giải quyết trên cơ sở so sánh kinh tế các phương án thiết kế).

Nhiệm vụ tính toán thủy lực là xác định độ sâu mực nước h trong kênh (thay đổi dọc theo kênh) khi đã biết những trị số khác, hoặc là chọn mặt cắt ngang của kênh khi đã biết đường mặt nước. Trường hợp đơn giản hơn là lúc đập tràn chảy, không ngập, khi lưu lượng (dòng nước đến) thay đổi đều theo dọc kênh:

$$\frac{dQ}{ds} = q = \text{const}$$

trong đó q - lưu lượng riêng của đập tràn , $q = m\sqrt{2g}H^{3/2}$.

Tương ứng với điều kiện dQ/ds = q = const, phương trình cơ bản của kênh phi lăng trụ có dạng:

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$\frac{dh}{ds} = \frac{-k\frac{q^2 s}{g\omega^2} + \frac{(qs)^2}{g\omega^3}\frac{\partial\omega}{\partial s} + i - J}{1 - \frac{(qs)^2}{g\omega^3}B} \qquad (13\text{-}17)$$

Còn đối với lòng dẫn lăng trụ $\left(\frac{\partial\omega}{\partial s} = 0\right)$:

$$\frac{dh}{ds} = \frac{-k\frac{q^2 s}{g\omega^2} + i - J}{1 - \frac{(qs)^2}{g\omega^3}B} \qquad (13\text{-}17')$$

trong đó hệ số k = 2 nếu ngưỡng đập tràn song song với trục của kênh.

Tính toán theo công thức này giống như tính toán cho đập tràn bên, nghĩa là có thể tiến hành theo phương pháp sai phân hữu hạn. Trình tự tính toán như sau: bỏ qua đại lượng i_f vì sức cản thủy lực có ảnh hưởng không đáng kể và viết các phương trình (13-17) và (13-17') dưới dạng sai phân, ta sẽ có:

- Đối với lòng dẫn phi lăng trụ mở rộng đều (có góc mở φ), tức là khi $\frac{d\omega}{ds} = 2tg\frac{\varphi}{2}h = ah$:

$$\Delta s = \frac{g\omega_{tb}^3 - (qs_{tb})^2 B_{tb}}{(qs_{tb})^2 ah_{tb} + ig\omega_{tb}^3 - k\omega_{tb}q^2 s_{tb}}\Delta h \qquad (13\text{-}18)$$

- Đối với lòng dẫn lăng trụ $\left(\frac{\partial\omega}{\partial s} = 0\right)$

$$\Delta s = \frac{g\omega_{tb}^3 - (qs_{tb})^2}{ig\omega_{tb}^3 - k\omega_{tb}q^2 s_{tb}}\Delta h \qquad (13\text{-}18')$$

Tính toán tiến hành theo từng đoạn, bắt đầu từ phía hạ lưu, tất cả các yếu tố dòng chảy (Q, ω, v.v...) đối với mỗi đoạn đều biết theo các điều kiện của hạ lưu.

Trong các công thức (13-18) và (13-18'):

ω_{tb}, B_{tb} và h_{tb} là kí hiệu các giá trị trung bình của mặt cắt ướt, chiều rộng mặt nước, chiều sâu kênh trên đoạn tính toán;

q - lưu lượng đập tràn trên 1m dài;

s_{tb} - chiều dài kênh (kể từ mặt cắt thượng lưu đầu tới điểm giữa của đoạn tính toán đang xét;

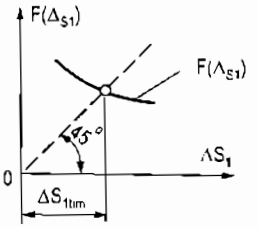
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$a = 2tg\frac{\varphi}{2}$;

k - hệ số bằng khoảng 1,75 ÷ 2,00.

Tính toán được tiến hành bằng cách cho Δh và xác định giá trị tương ứng Δs. Giải bài toán trên bằng phương pháp đồ giải tốt hơn bằng phương pháp thử dần.



Hình 13.9

Sau khi đối với mặt cắt cuối của đoạn tính toán đã biết các trị số h_2, ω_2, B_2 và cho trị số Δh, trước hết ta tìm các giá trị trung bình $h_{tb} = (h_1 + h_2)/2$; $\omega_{tb} = (\omega_1 + \omega_2)/2$ và $B_{tb} = (B_1 + B_2)/2$. Sau đó, giả thiết là $s = L - \Delta s/2$ (L - chiều dài kênh bằng chiều dài của đập tràn), đối với các $\Delta s_1'$, $\Delta s_1''$, $\Delta s_1'''$, ... ta tính các giá trị vế phải của các công thức (13.18) hoặc (13.18'), tức là ta tính $F(\Delta s_1')$; $F(\Delta s_1'')$, ... rồi bằng đồ thị ta tìm chiều dài cần thiết Δs_1 của đoạn tính toán (hình 13.9).

Sau khi kết thúc tính toán cho đoạn thứ nhất (đoạn thấp nhất theo chiều chảy), ta chuyển sang đoạn thứ hai v.v...

Tính toán sẽ đơn giản hơn, nếu tính tỉ số Δs/Δh không phải theo các giá trị trung bình của từng đoạn, mà theo các trị số ω, B và h đối với mặt cắt cuối của từng đoạn tính toán, tức là theo các công thức:

- Đối với lòng dẫn phi lăng trụ:

$$\Delta s = \frac{g\omega^3 - Q^2B}{Q^2ah + ig\omega^3 - kq\omega Q}\Delta h \qquad (13\text{-}17'')$$

- Đối với lòng dẫn lăng trụ:

$$\Delta s = \frac{g\omega^3 - Q^2B}{ig\omega^3 - kq\omega Q}\Delta h \qquad (13\text{-}18'')$$

Ghi chú: Nếu ở cuối kênh phía hạ lưu (tại mặt cắt ứng với cuối đập tràn) có độ sâu phân giới h_{pg}, thì đạo hàm dh/ds = ∞. Trong trường hợp này để bắt đầu tính toán cần lấy $h_2 > h_{pg}$, ví dụ $h_2 = 1,1h_{pg}$.

Thí dụ: Cho lưu lượng trên 1m dài của đập tràn q = 20 $m^3/(s.m)$; chiều dài đập L = 125m; kênh dẫn có dạng hình thang với mái dốc m = 0,5, chiều rộng đáy tại mặt cắt đầu $b_đ$ = 6,5m và tại mặt cắt cuối b_c = 25m; độ dốc đáy kênh i = 0,05 tại 53m ban đầu và i = 0,03 tại 72m còn lại; tại mặt cắt cuối có chiều sâu phân giới h_{pg} = 9,75m (tính theo $\frac{\omega^3}{B_1} = \frac{\alpha Q^2}{g} = \frac{1,1.2500^2}{g} = 0,7.10^6$).

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Giải:

1- Vì kênh có dạng phi lăng trụ, nên tính toán được tiến hành theo công thức (13-17"). Ta tìm giá trị:

$$a = 2tg\frac{\varphi}{2} = \frac{b_c - b_d}{L} = \frac{25 - 6,5}{125} = 0,148$$

Lấy k = 2. Đối với mặt cắt cuối, tính tiếp (giả thiết $h = 10m > h_{pg}$)

$$\omega = (b + mh)h = (25 + 0,5.10)10 = 300m^2;$$

$$B = b + 2mh = 25 + 2.0,5.10 = 35m;$$

$$Q = qL = 20.125 = 2500\ m^3/s$$

Bây giờ ta có:

$$\frac{ds}{dh} = \frac{g\omega^3 - Q^2B}{ahQ^2 + ig\omega^3 - kq\omega Q} =$$

$$= \frac{9,81.300^3 - 2500^2.35}{0,148.10.2500^2 + 0,03.9,81.300^3 - 2.20.300.2500} = -3,6$$

Do đó, đối với mặt cắt cuối

$$\frac{dh}{ds} = \frac{1}{\frac{ds}{dh}} = \frac{1}{-3,6} = -0,278$$

và do đó, chiều sâu trong kênh giảm dần theo chiều chảy về phía hạ lưu và, ngược lại tăng dần ngược chiều chảy.

2- Lấy hiệu số các chiều sâu của đoạn tính toán thứ nhất (thấp nhất theo chiều chảy) $\Delta h = -1,0m$, ta tìm được chiều dài của đoạn đó $\Delta s = -3,6.1,0 = -3,6m$.

3- Chuyển sang mặt cắt tiếp theo ở khoảng cách 3,6m tính từ mặt cắt cuối ngược chiều dòng chảy.

Ta có: $h = h_d - \Delta h = 10,0 + 1,0 = 11,0m;$

Chiều rộng đáy $b = 25 - 0,148\Delta s = 24,47m;$

Chiều rộng mặt nước $B = 24,47 + 2.0,5.11 = 35,47m;$

Diện tích mặt cắt ướt $\omega = 345m^2;$

Lưu lượng $Q = q(L - \Delta s) = 20(125 - 3,6) = 2428\ m^3/s$

Ta tính tiếp như đã làm đối với mặt cắt thứ nhất (cuối). Kết quả ghi vào bảng 13.2.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 13.2. Tính toán kênh có nước chảy vào ở bên cạnh (thí dụ tính toán)

Số mặt cắt	h (m)	b (m)	B (m)	ω (m^2)	Q (m^3/s)	$\frac{ds}{dh}$	Δh (m)	$s = \frac{ds}{dh}\Delta h$ (m)	Chú ý
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	10	25	35	300	2500	– 3,6	+ 1,0	– 3,60	
2	11	24,47	35,53	330	2428	– 12	+ 1,0	– 12,10	i = 0,03
3	12	22,75	34,75	345	2194	– 24	+ 1,0	– 24,0	
4	13	19,20	32,20	334	1714	– 42,5	+ 0,065	– 32,7	
5	13,76	14,40	28,16	293	1060	+ 100	– 0,26	– 26,0	
6	13,50	10,20	26,70	229	50	+ 62	– 0,43	– 27,0	i = 0,05
7	13,08	6,50	–	–	–	–	–	–	–
						$\Sigma\Delta s = 125$			

Ghi chú:

1. Các trị số Δs là các khoảng cách giữa các mặt cắt trung gian (vì Δs = – 3,6m là khoảng cách giữa các mặt cắt thứ nhất và thứ hai, Δs = –12,1m là khoảng cách giữa các mặt cắt thứ hai và thứ ba, v.v...). Dấu trừ để chỉ khoảng cách Δs đặt ngược chiều chảy.

2. Theo các số liệu trong bảng có thể vẽ đường mặt nước trong kênh h = f(Δs). Ở đây cần xét sự hạ thấp đáy kênh ứng với độ dốc i của nó.

Phương pháp tính toán gần đúng được sử dụng để xác định sơ bộ các kích thước của kênh dẫn.

Cho độ dốc i của đáy trong kênh dẫn; lưu lượng Q đi qua đập tràn, cũng như góc θ tạo nên bởi phương của trục kênh dẫn và phương của ngưỡng đập tràn. Yêu cầu xác định chiều sâu h và chiều rộng đáy b của kênh (h và b sẽ khác nhau đối với các mặt cắt khác nhau).

Sơ đồ tính toán. Bỏ qua sức cản thủy lực dọc đường (vì nhỏ so với độ hạ thấp mặt nước trong kênh), ta tìm vận tốc chảy đối với từng mặt cắt ngang tính toán $v_1, v_2, \ldots v_n$. Sau đó ta xác định các lưu lượng tương ứng $Q_1, Q_2, \ldots Q_n$ bằng công thức:

$$Q_x = \frac{Q}{L}x = m\sqrt{2g}H^{3/2}x$$

trong đó:

m, L và H - lần lượt là hệ số lưu lượng, chiều dài ngưỡng và cột nước trên đỉnh đập;

x - khoảng cách mặt cắt đang xét đến mặt cắt ban đầu 0 - 0 (hình 13.8).

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Theo lưu lượng và vận tốc, ta tìm diện tích mặt cắt ướt

$$\omega_n = \frac{Q_n}{v_n} (\omega_1, \omega_2, ..., \omega_n)$$

Do đó, có các đại lượng ω, ta xác định được các đại lượng cần tìm h và b trên cơ sở lấy theo cấu tạo tỉ số β = b/h có thể tìm lời giải tối ưu bằng cách so sánh hàng loạt kênh với các i, θ và β = b/h khác nhau).

Trình tự tính toán được trình bày rõ trong thí dụ.

Thí dụ: Cho chiều dài ngưỡng đập tràn L = 100m; cột nước trên đập H = 5m, y = 5m; lưu lượng Q = 2000 m^3/s góc θ = 15° (α = π/2 − β = 75°; cosα = 0,26); hệ số vận tốc φ = 0,90. Xác định các kích thước của kênh dẫn.

Giải:

1- Xem mặt thoáng trong kênh dẫn có dạng đường thẳng, trong đó cao trình của nó tại mặt cắt đầu lấy bằng cao trình ngưỡng đập tràn, còn trong mặt cắt cuối - thấp hơn ngưỡng đập tràn một đại lượng y_c = 5m.

2- Ta xác định vận tốc trung bình v_c tại mặt cắt cuối kênh 2-2 (hình 13.8) bằng cách giải phương trình bậc hai

$$v_c^2 = A' v_c - B' = 0$$

trong đó: $$A' = \frac{2}{3}\left(u_c + u_o \sqrt{\frac{H}{y_c}} \ln \frac{\sqrt{y_c} + \sqrt{H + y_c}}{\sqrt{H}} \right);$$

$$B' = \frac{2gy_c + u_o^2}{3}$$

Lần lượt tìm:

- Vận tốc của dòng nhập lưu tại mặt cắt đầu (hình 13.8, mặt cắt 0 - 0):

$$u_o = \varphi \cos\alpha \sqrt{2gH} = 0,90.0,26\sqrt{2g.5} = 2,32 \text{ m/s}$$

- Vận tốc của dòng nhập lưu tại mặt cắt cuối (hình 13.8, mặt cắt 2 - 2):

$$u_c = \varphi \cos\alpha \sqrt{2g(H + y_c)} = 0,90.0,26\sqrt{2.9,81(5+5)} = 3,3 \text{ m/s}$$

Các đại lượng A' và B'

$$A' = \frac{2}{3}\left(u_c - u_o \sqrt{\frac{H}{y_c}} \ln \frac{\sqrt{y_c} + \sqrt{H + y_c}}{\sqrt{H}} \right) =$$

$$= \frac{2}{3}\left(3,3 + 2,32\sqrt{\frac{5}{5}} \ln \frac{\sqrt{5} + \sqrt{5+5}}{\sqrt{5}} \right) = 3,55 \text{ m/s}$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$B' = \frac{2gy_c + u_o^2}{3} = \frac{2.9,81.5 + 2,32^2}{3} = 34,5\ m^2/s^2$$

Ta có $v_c^2 - 3,55v_c - 34,5 = 0$, do đó $v_c = 7,91$ m/s.

Ta xác định các kích thước của mặt cắt ngang tại mặt cắt cuối

$$\omega_c = \frac{Q}{v_c} = \frac{2000}{7,91} = 252,84m^2$$

Lấy chiều sâu mực nước theo cấu tạo $h_c = 10$m (trên hình 13.8 chiều sâu h_2), ta tìm $b_c = 25,8$m (ở đây ta có $\beta = b/h_2 = 2,58$).

3. Tương tự, ta tìm các kích thước của các mặt cắt trung gian: xác định vận tốc v theo công thức:

$$v^2 - Av - B = 0$$

trong đó:

$$A = \frac{2u}{3};$$

$$B = \frac{2}{3}v_c u_o \sqrt{\frac{H}{y_c}} \ln \frac{\sqrt{y} + \sqrt{H+y}}{\sqrt{H}} + \frac{2gy + u_o^2}{3}.$$

Trong các công thức này $u = \varphi \cos\alpha \sqrt{2g(H+y)}$ - vận tốc của dòng nhập lưu tại mặt cắt đang xét; $y = y_c x/L$ - độ hạ thấp đường mặt nước từ mặt cắt đầu đến mặt cắt tính toán đang xét (trong trường hợp của chúng ta $y = 5\frac{x}{100} = 0,05x$).

Tiếp theo, tính toán tiến hành dưới dạng bảng (bảng A). Sơ bộ xác định:

$$a = \frac{2}{3}v_c u_o \sqrt{\frac{H}{y_c}} = \frac{2}{3}3,50.2,32\sqrt{\frac{5}{5}} = 5,5;$$

$$\sqrt{H} = \sqrt{5} = 2,24;$$

$$u_o^2 = 2,32^2 = 5,4$$

Lập công thức tính toán :

$$v^2 - \frac{2u}{3}v - 5,5\ln\frac{\sqrt{y} + \sqrt{5+y}}{\sqrt{5}} + \frac{2gy + 5,4}{3} = 0$$

trong đó: $u = \varphi \cos\alpha \sqrt{2g(5+y)} = 1,035\sqrt{5+y}$.

https://tieulun.hopto.org

Bảng A. Xác định A và B

Số thứ tự mặt cắt	Khoảng cách từ mặt cắt đầu x (m)	Độ hạ thấp mặt thoáng y (m)	$\frac{\sqrt{y}+\sqrt{H+y}}{H}$	$A=\frac{2u}{3}=0,693\sqrt{5+y}$	$5,5\ln\frac{\sqrt{y}+\sqrt{5+y}}{2,235}$	$\frac{2gy+5,4}{3}$	B
5 - 5	75	3,75	2,19	2,06	4,3	26,3	30,6
4 - 4	50	2,5	1,935	1,90	3,61	18,2	21,81
3 - 3	25	1,25	1,62	1,74	2,66	10,0	12,66
2 - 2	12,5	0,625	1,436	1,645	1,95	5,89	7,84
1 - 1	6,25	0,313	1,28	1,60	1,84	3,85	5,39

Bảng B. Xác định các kích thước mặt cắt ngang của kênh

Số mặt cắt	Q (m^3/s)	v (m/s)	ω_2	h (m)	b (m)	Ghi chú
5 - 5	1500	6,7	244	9,33	24,10	Ở đây dùng mặt cắt chữ nhật và $\theta = 2,58$
4 - 4	1000	5,72	174	8,25	21,20	
3 - 3	500	4,53	110	6,53	16,75	
2 - 2	250	3,74	67	5,08	13,20	
1 - 1	125	3,32	37,5	3,74	9,65	

www.thuvien247.net

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Theo bảng này ta có phương trình để tính vận tốc trung bình tại từng mặt cắt[1].

$v_5^2 - 2,06v_5 - 30,6 = 0;$ $v_5 = 6,7$ m/s

$v_4^2 - 1,90v_4 - 21,81 = 0;$ $v_4 = 5,72$ m/s

$v_3^2 - 1,74v_3 - 12,66 = 0;$ $v_3 = 4,53$ m/s

$v_2^2 - 1,645v_2 - 7,84 = 0;$ $v_2 = 3,74$ m/s

$v_1^2 - 1,6v_1 - 5,61 = 0;$ $v_1 = 3,32$ m/s

Theo các giá trị vận tốc đã tính tại mỗi mặt cắt, ta xác định được các kích thước mặt cắt ngang kênh. Tính toán theo bảng B.

[1] Đối với mặt cắt cuối phương trình tương ứng đã cho ở trên.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Chương 14
CHUYỂN ĐỘNG KHÔNG ỔN ĐỊNH

A - SÓNG DO GIÓ VÀ TÁC ĐỘNG CỦA CHÚNG LÊN CÁC CÔNG TRÌNH THỦY LỢI

14.1. CÁC ĐẶC TRƯNG CƠ BẢN CỦA SÓNG TRONG CÁC BỂ CHỨA NƯỚC HỞ

a) Các dạng sóng và tác động của chúng lên công trình và lên bờ

Sóng do gió xuất hiện trên mặt nước dưới tác động của gió. Chúng được chia ra sóng cưỡng bức, sóng tự do và sóng hỗn hợp.

Sóng cưỡng bức xuất hiện dưới tác động trực tiếp của gió. Thường xuyên hơn cả là chúng tạo thành một bề mặt ba chiều (không gian) và có thể xác định như sóng ba chiều.

Sóng tự do hoặc sóng dao động phát triển do lực quán tính sau khi gió đã tắt. Chúng thuộc loại sóng hai chiều hoặc sóng hình trụ.

Sóng hỗn hợp xuất hiện do kết quả cộng tác động của sóng cưỡng bức và sóng tự do. Chúng thuộc loại sóng ba chiều.

Dưới tác động tương hỗ giữa sóng với công trình, xuất hiện sự phản xạ một phần hoặc toàn bộ sóng từ phía công trình (sóng phản xạ).

Sóng giao thoa sinh ra do cộng tác động của sóng phản xạ và sóng tiến thẳng tới công trình.

Sóng đứng là trường hợp riêng quan trọng của sóng giao thoa. Chúng hình thành khi một số sóng có chiều cao cố định tiến thẳng đến công trình có bề mặt thẳng đứng hoặc dốc đứng. Chiều cao của chúng lớn hơn chiều cao sóng tự do gấp hai lần, khi chiều dài vẫn giữ nguyên.

Ở một chiều sâu mực nước xác định (phân giới) bằng H_{pg} thì các sóng cưỡng bức hoặc tự do chuyển thành sóng vỡ, mang theo mình sóng bạc. Khi chiều sâu trước công trình hoặc trong phạm vi của nó (trong trường hợp công trình loại mái dốc) thay đổi đột ngột, sóng sẽ va đập vào mặt dốc đứng tạo thành sóng vỡ.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Theo các tài liệu về các tiêu chuẩn hiện hành[1], các khái niệm trình bày dưới đây cơ bản là dựa trên lí thuyết về các sóng đều có hai chiều tự do (sóng dao động) với các thông số cố định theo thời gian (chiều cao, bước sóng, chu kì, v.v...)[2]

Lí thuyết này chỉ phản ánh một cách quy ước thực chất của sóng thiên nhiên do gió gây ra - là loại sóng hầu như luôn luôn không đều đặn, tức là có các thông số thay đổi liên tục theo thời gian.

Hiện nay ở Liên Xô và các nước khác, đang phát triển và áp dụng có kết quả lí thuyết hoàn chỉnh hơn về chuyển động sóng dựa trên cơ sở xét cấu tạo phổ của sóng tự nhiên do gió gây ra (vào thực tế tính toán công trình), còn tác động của sóng không điều hòa lên vật cản có các hình dạng khác nhau đang được phân tích trên quan điểm lí thuyết quá trình ngẫu nhiên[3].

Khi tính toán các công trình thủy lợi ta xét các dạng tác động sóng sau đây:

1. Tác động của sóng đứng không bị vỡ, của sóng vỡ và của sóng vỗ lên các công trình và các kết cấu có các bề mặt thẳng đứng tiếp xúc với sóng (các đê đập bêtông, bêtông cốt thép, kim loại và gỗ, các tường chịu áp lực của nhà máy thủy điện, các cửa van phẳng, các công trình ngăn bến cảng dưới dạng tường thẳng đứng).

2. Tác động của các dạng sóng nói trên lên các công trình và kết cấu có mặt dốc nghiêng lớn (góc nghiêng so với đường nằm ngang $\alpha > 45^0$).

3. Tác động của sóng vỗ lên các công trình loại mái dốc với $\alpha \leq 45^0$ (mái và các chi tiết gia cố mái của đập bồi, đập đất đắp và đá đổ, các con đê, kênh, các công trình ngăn bến loại mái dốc).

4. Tác động lên các cột chống riêng biệt.

5. Tác động của sóng do gió lên bờ tự nhiên có mái dốc của các hồ chứa.

b) Các yếu tố cơ bản của sóng tự do điều hòa hai chiều (hình 14.1)[4]

Chiều cao sóng h (m) - khoảng cách thẳng đứng giữa đỉnh và đáy sông.

---

(1) "Quy phạm kĩ thuật về xác định tác động của sóng lên các công trình biển, sông và bờ CH 92-60"; "Các chỉ dẫn về thiết kế các công trình thủy lợi chịu tác động của sóng. CH 288-64".

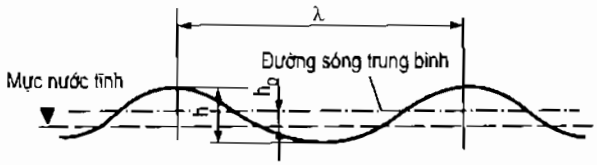
(2) Xrêchenxki L. H. Lí thuyết chuyển động sóng của chất lỏng. ONTI, 1936.

(3) Crulôp Iu. M. Các phương pháp phổ trong nghiên cứu và tính toán sóng do gió, NXB "Khí tượng thủy văn", 1966; Nghiên cứu các công trình thủy lợi trên biển, Tuyển tập công trình, 1966, N51 (ĐHXD Matxcơva).

(4) Cần chú ý khi sử dụng các sách giáo khoa, các sổ tay và các tài liệu khác đã xuất bản trước năm 1961 (trong lĩnh vực này) là hệ thống kí hiệu các yếu tố sóng đã thay đổi, vì ГОСТ 3255-46 trước kia, từ năm 1961 đã được thay bằng tiêu chuẩn mới CH 92-60.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 14.1: *Các yếu tố của sóng dao động*

Chiều dài sóng λ, (m) - khoảng cách nằm ngang giữa hai đỉnh sóng nằm kề nhau.

Độ dốc của sóng h/λ - tỉ số giữa chiều cao và chiều dài sóng.

Chu kì sóng τ - khoảng thời gian cần thiết để đỉnh sóng đi chuyển được một khoảng bằng chiều dài sóng.

$$\tau = \sqrt{\frac{2\pi\lambda}{g} \operatorname{cth} \frac{2\pi H}{\lambda}} \quad (s) \qquad (14\text{-}1)$$

trong đó: H - chiều sâu bể chứa (m).

Vận tốc truyền sóng c - vận tốc di chuyển của đỉnh sóng theo phương ngang, bằng λ/τ.

Vận tốc quỹ đạo của chuyển động của phần tử chất lỏng tại điểm đang xét của sóng, ở chiều sâu z (từ mực nước tĩnh) được xác định theo công thức (dưới đỉnh sóng):

$$v_z = \frac{\pi h}{\tau} \frac{\operatorname{ch} \frac{2\pi}{\lambda}(H - z)}{\operatorname{sh} \frac{2\pi H}{\lambda}} \quad (m/s) \qquad (14\text{-}2)$$

Khi z = H, công thức (14-2) cho ta trị số lớn nhất của vận tốc đáy của sóng tự do.

Đà sóng do gió D (km) - chiều dài mặt thoáng chịu tác động của gió đã gây nên sóng.

c) Các vùng tác động của sóng do gió ở dải gần bờ của các hồ chứa

Dải gần bờ của trường sóng của hồ chứa chia ra thành bốn vùng.

Vùng thứ nhất - vùng nước sâu với chiều sâu $H \geq \lambda/2$; ở vùng này, đáy thực tế không có ảnh hưởng đến hình dạng và kích thước của sóng. Trong tất cả các công thức tính toán dùng để xác định tác động của sóng ở vùng thứ nhất, có thể lấy H bằng vô cực.

Vùng thứ hai - nước cạn với chiều sâu $\lambda/2 > H > H_{pg}$. Trong vùng này xuất hiện sự biến đổi sóng, tức là sự thay đổi chiều cao và chiều dài của chúng. Tính toán sự biến đổi đó được trình bày trong mục 24.26 của CH 92.60. Khi giảm chiều sâu đến mức phân giới $H = H_{pg}$ đỉnh sóng bị phá hoại sóng biến thành sóng vỡ.

Vùng thứ ba - vùng sóng vỡ với chiều sâu $H \leq H_{pg}$. Tùy thuộc vào độ dốc của sóng, độ dốc sóng của hồ và các yếu tố khác mà thường lấy H_{pg} từ 1,5h đến 2,0h (chính xác hơn xem trong mục 25 CH-92-60).

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Vùng thứ tư - mép nước, ở đó sóng bị phá hoại hoàn toàn khi dòng chảy tiếp xúc với bờ hoặc mái.

d) Xác định các thông số tính toán của sóng do gió

Để xác định các thông số tính toán của sóng do gió, khi có số liệu tin cậy của nhiều năm quan trắc trực tiếp các thông số của sóng trên hồ mà ta quan tâm, thì phải tiến hành chỉnh lí thống kê các số liệu đó và vẽ các đường tần suất các yếu tố sóng theo các hướng khác nhau.

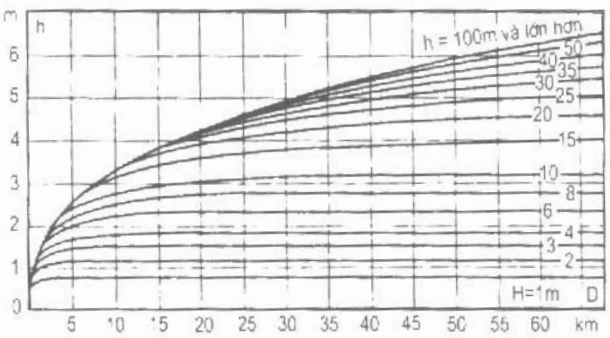
Khi không có các số liệu ấy, đặc biệt là khi thiết kế các công trình cho hồ chứa được phục hồi, thì tiến hành tính các thông số đó trên cơ sở phân tích các yếu tố hình thành sóng như vận tốc gió, thời gian gió thổi, đà sóng và chiều sâu hồ chứa.

Vận tốc gió và thời gian thổi của nó theo các hướng khác nhau được xác định bằng cách chỉnh lí thống kê các số liệu quan trắc của các trạm thủy văn khí tượng gần nhất. Các số liệu của các trạm đặt ở trên bờ hoặc ở các đảo phía hạ lưu là các số liệu tốt nhất.

Khi tính các yếu tố sóng của các hồ nhỏ (đầm, hồ) có thể không cần xét đến thời gian gió thổi.

Đà sóng được xác định theo các phương của tám rum cơ bản và theo phương chiều rộng lớn nhất của hồ chứa.

Để xác định gần đúng chiều cao sóng với tần suất 1%, có thể dùng đồ thị trên hình 14.2.



Hình 14.2: *Đồ thị để xác định chiều cao sóng h với tần suất 1% tùy thuộc vào chiều sâu trung bình của hồ chứa H và đà D (khi tốc độ gió 30 m/s)*

Đối với các hồ sâu và các vùng bờ bể sâu, để tính sơ bộ có thể lấy các tỉ số sau đây: h/λ đối với biển lấy bằng 1/10 ÷ 1/20; đối với hồ chứa lớn - bằng 1/10 ÷ 1/15.

Để chuyển sang các thông số của sóng có tần suất khác, nên dùng các số liệu trong bảng 14.1, trong đó h_i - chiều cao sóng của tần suất tính toán i (%); $\bar{h}$ chiều cao trung bình của sóng.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 14.1. Để tính toán tần suất của sóng

Tần suất chiều cao của sóng i (%)	1	2	3	10	20	30	40	50	60
$\frac{h_1}{\bar{h}}$	2,52	2,28	1,91	1,69	1,38	1,21	1,05	0,93	0,81

Để tính toán chính xác các thông số của sóng, nên tiến hành theo chương II của CH 92-60.

Các giá trị điển hình về các chiều cao và chiều dài lớn nhất quan trắc được của sóng trong đại dương, biển và trong các hồ được ghi trong bảng 14.2.

Bảng 14.2. Các thông số của sóng

Tên	Chiều cao h (m)	Chiều dài λ (m)
Đại Tây dương, Thái Bình dương và Ấn Độ dương	20,0	500
Biển Bêrin	14,0	250
Biển Baren	13,0	200
Biển Kaxpiên	11,0	130
Biển Hắc Hải	9,5	140
Biển Ban tích	8,5	120
Hồ lớn và bể chứa (ở Liên Xô cũ)	5 ÷ 5,5	60 ÷ 70

Có thể tiến hành xác định chiều cao đà gió ΔH (độ dâng của mực nước trung bình trong hồ dưới tác động của gió) theo công thức:

$$\Delta H = 0,002\frac{W^2 D}{2gH}\cos\alpha \qquad (14\text{-}3)$$

trong đó: α - góc giữa trục hồ và phương của gió;

W - vận tốc gió (m/s);

D - đà gió (km).

14.2. TÁC ĐỘNG CỦA SÓNG LÊN TƯỜNG THẲNG ĐỨNG

a) Sóng đứng không vỡ

Khi chiều sâu trước công trình H > 2h và chiều dài công trình dọc theo diện tác dụng của sóng lớn hơn chiều dài sóng thì phải tính các công trình hoặc kết cấu chịu tác động của sóng đứng.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Chiều cao lớn nhất của đỉnh sóng tính từ mực nước tĩnh lấy bằng:

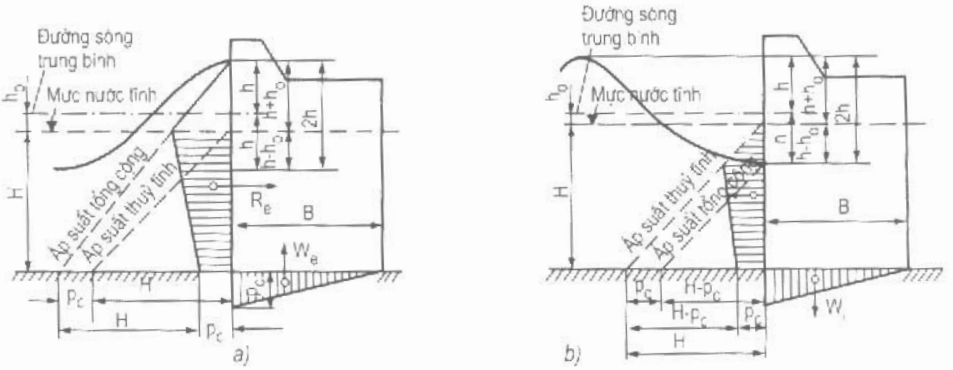
$$h_d = h + h_o \qquad (14\text{-}4)$$

Độ hạ thấp lớn nhất của chân sóng tại tường so với mực nước tĩnh sẽ là:

$$h_{ht} = h - h_o \qquad (14\text{-}5)$$

trong đó: h_o - độ chênh giữa đường trung bình của sóng và mực nước tĩnh (xem hình 14.1) được xác định theo công thức (14-7).

Để tính toán sơ bộ có thể vẽ biểu đồ áp suất dư (trên mức thủy tĩnh) của sóng (hình 14.3).



Hình 14.3: *Biểu đồ áp suất sóng của sóng đứng lên tường thẳng đứng*
a) Khi đỉnh sóng tiến đến tường; b) Khi chân sóng tiến đến tường.

Tổng áp lực dư nằm ngang trên 1m chiều dài của tường khi đỉnh sóng tiến đến mặt tường, xác định theo công thức:

$$R_c = \gamma\left[\frac{(H + h_o + h)\left(H + \frac{p_c}{\gamma}\right)}{2} - \frac{H^2}{2}\right] \quad \text{(T/m chiều dài)} \qquad (14\text{-}6)$$

trong đó: $$h_o = \frac{\pi h^2}{\lambda}\,\text{cth}\,\frac{2\pi H}{\lambda} \quad \text{(m)} \qquad (14\text{-}7)$$

$$p_c = \gamma\frac{h}{\text{ch}\,\frac{2\pi H}{\lambda}} \quad \text{(T/m chiều dài)} \qquad (14\text{-}8)$$

Trong tính toán công trình trên nền thấm, cần xét đến áp suất đẩy nổi của sóng (trên mức thủy tĩnh) bằng:

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$W_c = \frac{p_c.B}{2} \qquad \text{(T/m chiều dài)} \qquad (14\text{-}9)$$

trong đó: B - chiều rộng đáy (m).

Tổng áp lực dư trên 1m dài của tường khi chân sóng tiến đến mặt tường sẽ có giá trị âm (lấy áp lực thủy tĩnh trừ đi) và trong trường hợp này được xác định theo công thức:

$$R_1 = \gamma\left[\frac{H^2}{2} - \frac{(H + h_o - h)\left(H - \frac{p_c}{\gamma}\right)}{2}\right] \qquad \text{(T/m chiều dài)} \qquad (14\text{-}10)$$

Áp suất đẩy nổi của sóng ở đây sẽ làm giảm áp suất thủy tĩnh một lượng là W_c tính theo công thức (14-9).

Trị số lớn nhất của vận tốc đáy v_{max} xảy ra trên khoảng cách $\lambda/4$ trước công trình và bằng:

$$v_{max} = \frac{2\pi hn}{\sqrt{\frac{\pi\lambda}{g}\,sh\frac{4\pi H}{\lambda}}} \quad (m/s) \qquad (14\text{-}11)$$

trong đó: n - hệ số lấy tùy thuộc vào độ dốc của sóng:

λ/h	8	10	15	20
n	0,6	0,7	0,75	0,8

Mức độ cần thiết phải bảo vệ lớp đất đáy phía trước công trình để chống xói do sóng đáy được quyết định theo các số liệu trong bảng 14.3 tùy thuộc vào đường kính hiệu ích của các hạt đất d_{hi}.

Bảng 14.3. Các giá trị vận tốc sóng xói đáy

d_{hi} (mm)	Vận tốc ban đầu để di chuyển các hạt của lớp mặt (m/s)	Vận tốc để bắt đầu di chuyển đại trà các hạt đất (m/s)
0,1	0,12	0,35
0,5	0,16	0,45
1,0	0,22	0,53
5,0	0,68	0,87
10,0	0,80	0,95
50,0	1,35	1,60
100,0	1,73	1,85

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

b) Sóng vỡ

Công trình phải tính toán theo tác động của sóng vỡ, là loại tạo nên áp suất dư lớn trong trường hợp: khi chiều sâu tự nhiên trước công trình hoặc kết cấu $H > H_{pg}$, nhưng trực tiếp ở trước công trình có một diện tích hoặc bờ nằm ngang và nằm ở chiều sâu $H_c \le H_{pg}$ (ví dụ, trong trường hợp van phẳng của đập tràn đặt lùi về phía hạ lưu so với mặt chịu áp lực của ngưỡng).

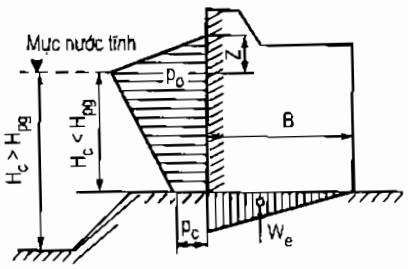
Biểu đồ áp suất dư của sóng vỡ trình bày trên hình 14.4.

Tung độ của biểu đồ tại mực nước tĩnh bằng:

$$p_o = \gamma h \frac{1,5}{\frac{H_c}{h} - 0,1} \quad (T/m^2) \quad (14\text{-}12)$$

Tung độ của biểu đồ tại mặt nền của tường:

$$p_c = 0,6 p_o \frac{H_c}{h} \quad (T/m^2) \quad (14\text{-}13)$$



Hình 14.4: *Biểu đồ áp suất sóng lên tường thẳng đứng dưới tác động của sóng vỡ*

Chiều cao dâng của mặt thoáng ở chân tường tại thời điểm xuất hiện áp suất lớn nhất:

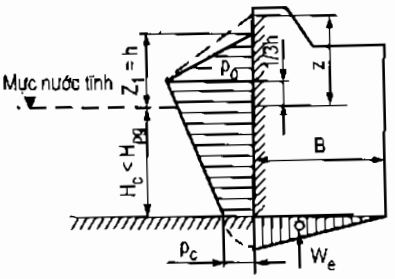
$$z = \left(0,8\frac{H_c}{h} - 0,2\right)h \quad (m) \quad (14\text{-}14)$$

Áp suất dư đẩy nổi: $W_e = 0,4 p_c B$ (T/m chiều dài) (14-15)

c) Sóng vỗ

Tính toán công trình hoặc kết cấu theo tác động của sóng vỗ được tiến hành khi $H \le H_{pg}$. Biểu đồ áp suất dư của sóng vỗ tác động lên tường thẳng đứng trình bày trên hình 14.5.

Áp suất dư bên sẽ đạt đến giá trị lớn nhất tại điểm h/3 so với mặt nước tĩnh và tính theo công thức:



Hình 14.5: *Biểu đồ áp suất sóng của sóng vỡ*

$$p_o = 1,7\gamma \frac{(0,75c + v)^2}{2g} \quad (T/m^2) \quad (14\text{-}16)$$

trong đó: v - vận tốc quỹ đạo xác định theo công thức (14-2) khi z = 0

c - vận tốc truyền sóng bằng λ/τ.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Áp suất tại nền tường $p_c = p_o/2$. Ở độ cao (so với mặt nước tĩnh) $z_1 = h$ ta có áp suất bằng không.

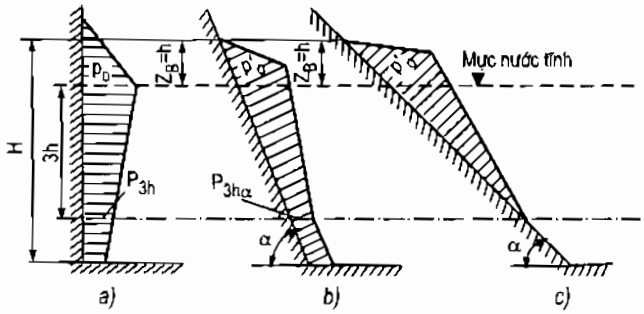
Áp suất dư đẩy nổi được xác định theo công thức (14-15).

Chiều cao tung bọt nước lớn nhất tại tường, tính từ mặt nước tĩnh, được tính theo công thức:

$$z = h + \frac{(0,75c + v)^2}{2g} \quad (m) \qquad (14\text{-}17)$$

14.3. TÁC ĐỘNG CỦA SÓNG LÊN TƯỜNG DỐC NGHIÊNG LỚN ($90^o > \alpha \geq 45^o$)

Khi $H > H_{pg}$, biểu đồ áp suất sóng, vẽ theo phương pháp gần đúng, trình bày trên hình 14.6



Hình 14.6: *Biểu đồ áp suất sóng lên tường dốc nghiêng lớn*
a) Đối với tường thẳng đứng; b) Đối với tường có góc $90^o > \alpha > 45^o$;
c) Đối với tường khi $\alpha = 45^o$.

$$p_{3h} = p_c + (p_o - p_c)\left(1 - \frac{3h}{H}\right) \quad (T/m^2) \qquad (14\text{-}18)$$

trong đó: p_o và p_c - áp suất lên tường thẳng đứng tại mực nước tĩnh tại cao trình đáy xác định theo biểu đồ trên hình 14.3a.

Tung độ của áp suất sóng lên tường dốc nghiêng lớn tại độ sâu $z = 3h$ tùy theo góc nghiêng α của mặt tường so với đường nằm ngang, được xác định theo công thức:

$$p_{3h\alpha} = p_{3h}\left(\frac{\alpha}{45^o} - 1\right) \quad (T/m^2) \qquad (14\text{-}19)$$

Áp suất ở vị trí thấp hơn điểm có độ sâu $z = 3h$ được xem là cố định và bằng $p_{3h\alpha}$.

Áp suất tại mực nước tĩnh p'_o đối với mọi trị số α lấy bằng p_o (cho tường thẳng đứng) và có phương thẳng góc với mặt tường dốc nghiêng. Ở cao và thấp hơn mực nước đó, các tung độ của biểu đồ thay đổi theo đường thẳng.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Chiều cao dâng z_1 khi xuất hiện áp suất sóng lớn nhất lấy bằng chiều cao sóng h.

Áp suất sóng dư đẩy nổi tính theo công thức (14-15).

Chiều cao leo lên tường dốc nghiêng xác định theo công thức:

$$h_l = \frac{h}{\sqrt{1+m^2}} + h_o\left(3 - \frac{\alpha}{45^o}\right) \quad (m) \qquad (14\text{-}20)$$

trong đó: h - được xác định theo công thức (14.7);

m - côtang của góc nghiêng của tường.

Khi tính tường dốc nghiêng theo tác động của sóng vỡ và sóng vỗ bằng cách tương tự, nên dùng các biểu đồ tương ứng về áp suất dư lên tường thẳng đứng (hình 14.4 và 14.5).

14.4. TÁC ĐỘNG CỦA SÓNG LÊN CÔNG TRÌNH LOẠI MÁI DỐC

Các lời chỉ dẫn dưới đây áp dụng cho các mái có độ dốc $1,5 \le m < 5$.

Chiều sâu H_l mà sau đó vận tốc trên mái dốc tăng đột ngột, được xác định theo công thức:

$$H_l = \frac{1,22}{m^{0,8}}\sqrt{h\lambda} \quad (m) \qquad (14\text{-}21)$$

Chiều sâu phân giới mà ở đó xuất hiện sự phá hoại sóng

$$H_{pg} = h\left(0,47 + 0,023\frac{\lambda}{h}\right)\frac{1+m^2}{m^2} \quad (m) \qquad (14\text{-}22)$$

Các tham số va đập của luồng chảy từ đỉnh sóng đổ sập lên mái được xác định cho điểm B của mái dốc ở độ sâu $H_{pg} - y_B$ (hình 14.7). Tại điểm B vận tốc sẽ lớn nhất và cường độ áp suất va đập của luồng chảy sập đổ cũng lớn nhất.

Các tọa độ của điểm B bằng:

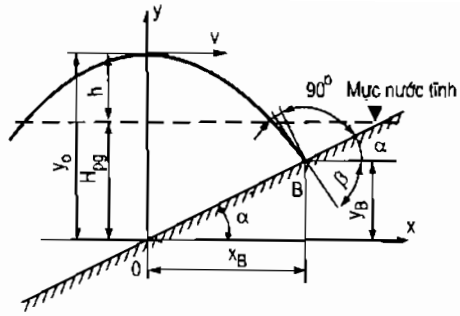
$$y_B = \frac{x_B}{m} \qquad (14\text{-}23)$$

$$x_B = \frac{\frac{-v_A^2}{m} \pm v_A\sqrt{\frac{v_A^2}{m^2} + 2gy_o}}{g} \qquad (14\text{-}24)$$

trong đó: y_o tung độ của điểm A đặc trưng cho vị trí của đỉnh sóng tại thời điểm bắt đầu sập đổ

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 14.7: *Sơ đồ sập đổ của sóng dao động trên mái dốc*

$$y_o = H_{pg} = h_d \tag{14-25}$$

h_d - chiều cao của điểm A tính từ mực nước tĩnh

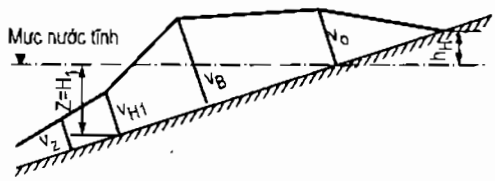
$$h_d = \left[0,95 - (0,84m - 0,25)\frac{h}{\lambda}\right] \tag{14-26}$$

v_A - hình chiếu ngang của vận tốc ban đầu của luồng chảy sập đổ xuống từ đỉnh sóng

$$v_A = n\sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}\text{th}\frac{2\pi H}{\lambda}} + h\sqrt{\frac{\pi g}{2\lambda}\text{cth}\frac{2\pi H}{2\lambda}} \tag{14-27}$$

trong đó: n - hệ số lấy theo bảng 14.3.

Biểu đồ phân bố vận tốc theo mái dốc khi sóng va đập vào mái dốc trình bày trên hình 14.8.



Hình 14.8: *Biểu đồ phân bố vận tốc sóng trên mái dốc*

Vận tốc lớn nhất của luồng khi va đập lên mái tại điểm B bằng

$$v_B = \sqrt{\eta\left[v_A + \left(\frac{gx_B}{v_A}\right)^2\right]} \tag{14-28}$$

trong đó: $\eta = 1 - (0,017m - 0,02)h$.

Vận tốc lớn nhất của luồng chảy tại mực nước tĩnh

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$v_o = \frac{10k_{nh}\sqrt{g}}{2\pi + m}\sqrt[6]{h^2\lambda} \qquad (14\text{-}29)$$

trong đó: k_{nh} - hệ số nhám lấy theo bảng 14.4.

Bảng 14.4. Các giá trị của hệ số nhám

Loại bề mặt	k_{nh}
Bề mặt nhẵn liên tục, không thấm nước	1
Các tấm lát bêtông	0,9
Đá lát	0,8
Đổ bằng đá đập	0,55
Đổ bằng các khối bêtông	0,5

Vận tốc luồng chảy ở cao hơn mực nước tĩnh được giả thiết là giảm dần theo luật tuyến tính (trong phạm vi chiều cao leo của sóng xác định theo công thức (14.31)).

Vận tốc luồng chảy ở thấp hơn mực nước tĩnh, bắt đầu từ độ sâu $z = H_1$ xác định theo công thức (14-21) và ở dưới đáy công trình, được tính theo công thức:

$$v_z = \frac{n\pi h}{\sqrt{\frac{\pi\lambda}{g}\,sh\frac{4\pi H}{\lambda}}} \quad (m/s) \qquad (14\text{-}30)$$

Trong phạm vi của đoạn mái dốc từ điểm B và đến điểm có độ sâu H, vận tốc giảm theo quy luật đường thẳng.

Chiều cao leo lớn nhất trên mái dốc của sóng h_1, tính từ mực nước tĩnh được xác định theo công thức:

$$h_1 = \frac{2k_{nh}h}{m}\sqrt[3]{\frac{\lambda}{h}} \quad (m) \qquad (14\text{-}31)$$

trong đó: k_{nh} - hệ số nhám lấy theo bảng 14.4.

Áp suất cục bộ lớn nhất tại điểm B do sự va đập của luồng chảy tại thời điểm sập đổ của sóng được tính theo công thức:

$$p_{B\,max} = 1,7\gamma\frac{v_B^2}{2}\cos^2\varphi \qquad (14\text{-}32)$$

trong đó: φ - góc giữa đường tiếp tuyến với phương của luồng chảy tại điểm B và đường thẳng góc với mái dốc bằng:

$$\varphi = 90^o - (\alpha + \beta) \qquad (14\text{-}33)$$

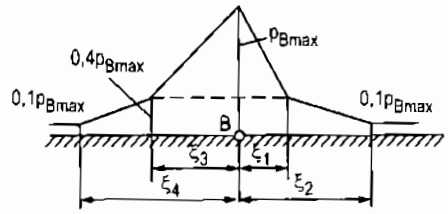
Góc β được tính theo hệ thức:

$$tg\beta = \frac{gx_B}{v_A^2} \qquad (14\text{-}34)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Biểu đồ phân bố áp suất sóng trên mái dốc (hình 14.9) được vẽ như sau: bắt đầu từ điểm B ta đặt một tung độ bằng p_{Bmax}, sau đó vẽ tiếp tung độ của các điểm nằm trên B một khoảng là ξ_1 và ξ_2 và các điểm nằm dưới B một khoảng là ξ_3 và ξ_4. Các tung độ áp suất trên biểu đồ tương ứng bằng $0,4p_{Bmax}$ (đối với ξ_1 và ξ_3) và $0,1p_{Bmax}$ (đối với ξ_2 và ξ_4).



Hình 14.9: *Biểu đồ phân bố áp suất sóng trên mái dốc tại thời điểm va đập của sóng đổ sập*

Các giá trị ξ lấy bằng:

$$\xi_1 = 0,025S; \qquad \xi_2 = 0,065S; \qquad \xi_3 = 0,053S; \qquad \xi_4 = 0,135S$$

trong đó:

$$S = \frac{m\lambda}{2\sqrt[4]{m^2 - 1}} \qquad (14\text{-}35)$$

Giới hạn trên của chiều cao mái dốc cần gia cố cơ bản lấy bằng chiều cao sóng leo h_1 xác định theo công thức (14-31). Trong công thức này lấy giá trị chiều cao sóng ứng với tần suất 50% và xác định bằng bảng 14.1. Để tìm giới hạn của gia cố nhẹ, ta cũng áp dụng công thức trên, nhưng lấy chiều cao sóng với tần suất 10%.

Giới hạn dưới của chiều cao gia cố cơ bản lấy ở độ sâu $H = 2h_1$, trong đó h_1 - chiều cao sóng ứng với tần suất 1%. Giới hạn dưới của gia cố nhẹ lấy theo vận tốc đáy tính theo công thức (14-30) có xét đến trị số của vận tốc sóng xói ghi trong bảng 14.3.

Vị trí của các giới hạn trên của chiều cao gia cố được tính từ mực nước tính toán cao, có xét đến đà gió xác định theo công thức (14-3); vị trí của các giới hạn gia cố dưới - từ mực nước tính toán thấp.

Khi thiết kế các công trình có mái dốc trên các hồ chứa mà có xét đến tác động của sóng, các chỉ tiêu tần suất về chiều cao sóng được lấy theo bảng 14.5.

Bảng 14.5. Ảnh hưởng cần xét của tác động sóng

Đặc trưng tính toán	Tần suất 1%
Chiều cao sóng leo mái dốc khi xác định cao trình đỉnh của công trình	1
Độ ổn định và độ bền của các tấm lát để gia cố cơ bản	1
Độ ổn định của đá đổ để gia cố cơ bản	2
Độ ổn định và độ bền các chi tiết gia cố nhẹ	5

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Theo điều kiện ổn định của các tấm lát bêtông và bêtông cốt thép chịu áp suất đẩy nổi thủy tĩnh khi sóng lăn, chiều dày của tấm lát t phải được xác định theo công thức (đối với mái dốc với m = 2 ÷ 5):

$$t = 0,07h \cdot \frac{\gamma}{\gamma_M - \gamma} \frac{\sqrt{m^2+1}}{m} \sqrt{\frac{\lambda}{B}} \quad (m) \qquad (14\text{-}36)$$

trong đó: B - chiều dài của tấm lát theo phương thẳng góc với mặt nước;

m - hệ số mái dốc;

γ_M - trọng lượng thể tích của vật liệu tấm lát.

Trọng lượng Q của các hòn đá riêng lẻ trong các công trình đá đổ với mái dốc $1 \le m < 5$, là loại mái dốc ổn định dưới tác động của sóng trong khu vực sóng sập đổ (trạng thái cân bằng giới hạn), được xác định theo công thức:

$$Q = K \frac{\mu \gamma_M h^2 \lambda}{\left(\frac{\gamma_M}{\gamma} - 1\right)^2 \sqrt{1+m^2}} \quad (T) \qquad (14\text{-}37)$$

trong đó: γ_M - trọng lượng thể tích của hòn đá hoặc khối đá;

μ - hệ số xét đến hình dạng của đá (lấy bằng 0,017 đối với các khối và 0,025 đối với đá đổ);

K - hệ số xét đến mái dốc (đối với hệ số $1 \le m < 2$ lấy bằng 1,0; đối với hệ số $2 \le m \le 5$ - bằng 1,5).

14.5. TÁC ĐỘNG CỦA SÓNG LÊN CÁC CỌC ĐỨNG RIÊNG LẺ

Trị số ước lượng của tổng áp lực sóng lên cọc đứng (cột, cừ, v.v...), khi các kích thước lớn nhất của mặt cắt ngang của nó song song với đỉnh sóng $d \le 0,5h$, có thể xác định theo công thức:

$$P \approx 0,2\gamma h^2 d \quad (T) \qquad (14\text{-}38)$$

Điểm đặt lực P ở đây có thể lấy tại mực nước tĩnh.

Khi $d \ge h$ giá trị tổng áp lực sóng có thể xác định gần đúng bằng các công thức ghi trong mục 14.2 cho tường chắn liên tục. Trong trường hợp này

$$P_x = R_c d \qquad (14\text{-}39)$$

trong đó: R_c đối với trường hợp $H > H_{pg}$ được xác định theo công thức (14-6).

Phương pháp tính toán chính xác hơn để xác định tác động của sóng lên các cột chống riêng lẻ được trình bày trong chương V của CH 92-60.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

14.6. TÁC ĐỘNG CỦA SÓNG DO GIÓ LÊN CÁC BỜ DỐC TỰ NHIÊN

Phương pháp tính toán đơn giản trình bày dưới đây về sự biến dạng của bờ, cho phép ta tính được gần đúng thể tích xói của bờ Q trong cả quá trình xói t (theo năm) theo công thức:

$$Q = k_p k_b t^b E \qquad (m^3/m \text{ chiều dài}) \qquad (14\text{-}40)$$

trong đó: E - năng lượng tính toán trung bình nhiều năm của sóng (T.m trong năm), tính theo các số liệu quan trắc gió ở các trạm thủy văn khí tượng gần nhất (xem mục 14.1d). Muốn thế cần xác định công suất sóng trung bình theo trọng khối $\overline{N}_i$ đối với sóng có chiều cao cho trước, có xét đến sự phân bổ các sóng theo thời gian theo "Rum j" hướng về phía hồ và theo công thức:

$$\overline{N}_i = 795 h_i^{2,5} \frac{\Sigma p_j \cos\varphi}{\Sigma p_j} \qquad (T.m) \qquad (14\text{-}41)$$

trong đó:

p_j - tần suất sóng "Rum j" nằm trong giới hạn chiều cao $h_i + \Delta h$ và $h_i - \Delta h$;

Δh - đại lượng nhỏ tùy ý;

φ - góc tạo bởi phương của đà sóng và phương thẳng góc với đường bờ (trong bình đồ).

Lúc đó E được xác định như sau:

$$E = \Sigma T_i \overline{N}_i \qquad (T.m/năm) \qquad (14\text{-}42)$$

trong đó:

T_i - thời gian tác động của sóng với chiều cao h_i (h/năm);

k_p - chỉ số xói của đất bờ (m^3/T.m) của sóng. Các giá trị ước lượng của k_p là:

- Đối với loại đất rất dễ xói (cát hạt nhỏ, á cát nhẹ, hoàng thổ) - từ 0,0065 đến 0,003;
- Đối với đất xói trung bình (á sét nặng, sét, cát có cuội, sỏi) - từ 0,001 đến 0,0005.
- Đối với đất khó xói (đá cuội, cát lẫn sét, sét bằng đất) - bé hơn 0,0005.

Hệ số thực nghiệm của $k_b = aH_b$, trong đó H_b - chiều cao trung bình của bờ trong phạm vi đoạn đang xét; a - khi đất dễ xói lấy bằng 0,03; khi khó xói 0,05.

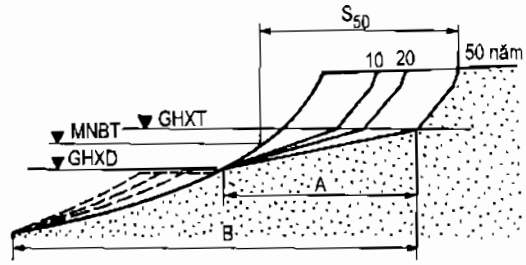
Chỉ số mũ b bằng phần bào mòn bãi cạn A (hình 14.10) của chiều rộng tổng cộng B (trong các điều kiện trung bình lấy vào khoảng 0,7).

Việc xác định chiều rộng vùng xói S' trong khoảng thời gian xói đã cho được tiến hành bằng đồ thị trên các mặt cắt địa chất công trình theo các trị số tính toán Q đã tìm ra.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Đường viền xói được chọn theo diện tích Q như đã trình bày trên hình 14.10 đối với mặt cắt điển hình của đoạn bờ đang xét.



Hình 14.10: *Sơ đồ biến dạng bờ dốc*

Phần bãi cạn bị bào mòn nằm giữa giới hạn xói trên và dưới (GHXT và GHXD). Các giới hạn này được xác định (đối với phần hồ đang xét) như sau: tìm cao trình mực nước trên và dưới với tần suất tương ứng 6 và 96%. Cộng một phần ba chiều cao trung bình của sóng vào cao trình mực nước trên, ta được giới hạn xói trên; lấy cao trình mực nước dưới trừ đi chiều cao trung bình của sóng ta được giới hạn xói dưới.

14.7. SÓNG TRONG KÊNH DẪN HỞ CỦA TRẠM THỦY ĐIỆN (TTĐ)

a) Các nhận xét sơ bộ

Nguyên nhân xuất hiện các sóng trong kênh dẫn hở của TTĐ là do sự làm việc của nó theo biểu đồ phụ tải ngày - đêm của hệ thống điện, do sự gia tăng hoặc giảm phụ tải đột ngột và do những nguyên nhân khác. Ở đây có thể quan sát thấy hiện tượng sóng di chuyển dọc kênh cũng như sự dao động của mực nước trong kênh.

Theo TY 24-108-48 của Tổng cục Xây dựng thủy điện, thì khi tính toán kênh dẫn trong các điều kiện chuyển động không ổn định ta phải xác định cao trình lớn nhất và nhỏ nhất của mặt nước tự do trong các tuyến của kênh dẫn, đồng thời vẽ đồ thị biến đổi lưu lượng và mực nước trong bể áp lực của TTĐ. Trong giai đoạn thiết kế kĩ thuật, cho phép giới hạn trong việc xác định cao trình lớn nhất và bé nhất tại cuối kênh dẫn bằng các phương pháp gần đúng, không cần vẽ đồ thị dao động lưu lượng và cao trình mặt thoáng. Việc vẽ đồ thị dao động lưu lượng và dao động cao trình mực nước được tiến hành theo TY 24-108-48 hoặc theo các chỉ dẫn của M. Đ. Tsectôuxôp[1].

b) Các kí hiệu, thuật ngữ và các hệ thức cơ bản

Sóng có thể di chuyển xuôi (theo dòng chảy xuống phía dưới) và ngược (theo dòng chảy ngược lên trên), dương (làm tăng mực nước) và âm (giảm mực nước).

Mặt cắt phần đầu của sóng dương (có thể gần như thẳng đứng) được gọi là mặt sóng. Đường ab được gọi là đường biên sóng (hình 14.11).

Vận tốc di chuyển của mặt sóng được gọi là vận tốc truyền sóng, còn lưu lượng mà sóng mang theo là lưu lượng sóng.

---

[1] Tsectôuxôp M. Đ. Giáo trình thủy lực chuyên môn. NXBNL, 1949.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Phương trình vi phân cơ bản của chuyển động không ổn định trong lòng dẫn hở là:

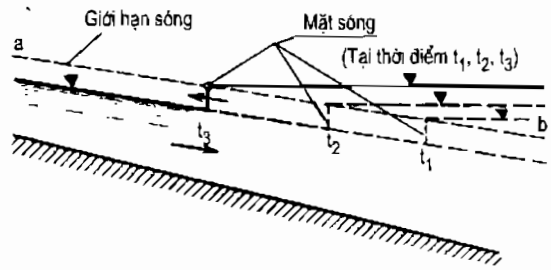
$$i - \frac{\partial h}{\partial s} = \frac{1}{g}\frac{\partial v}{\partial t} + \alpha\frac{v}{g}\frac{\partial v}{\partial s} + J \qquad (14\text{-}43)$$

trong đó:

i và J - độ dốc đáy lòng dẫn và độ dốc thủy lực bằng Q^2/K^2;

h và v - chiều sâu và vận tốc trung bình của dòng chảy tại mặt cắt đang xét;

α - hiệu chỉnh cột nước vận tốc (ví dụ $\alpha = 1.10$).



Hình 14.11

Phương trình liên tục:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial s} = 0 \qquad (14\text{-}44)$$

trong đó: ω và Q - diện tích mặt cắt ướt và lưu lượng.

Các kí hiệu quy ước đã dùng là[2]:

c - vận tốc truyền sóng tại tuyến đang xét;

$\bar{c}$ - vận tốc truyền sóng trung bình trên đoạn đang xét;

ζ - chiều cao sóng;

$\bar{B}$ - chiều rộng của mặt cắt kênh ở độ cao một nửa chiều cao sóng;

ΔQ - lưu lượng sóng.

Tất cả các yếu tố thủy lực thuộc về trạng thái ban đầu được kí hiệu bằng chữ "O".

Vận tốc truyền sóng dương. Đối với lòng dẫn có mặt cắt hình dạng bất kì:

$$c = \sqrt{\frac{\omega_o}{B'}\left(1 + \frac{3}{2}\frac{B'}{\omega_{th}}\zeta + \frac{1}{2}\frac{B'^2}{\omega_o^2}\zeta^2\right)} \pm v_o \qquad (14\text{-}45)$$

trong đó các kí hiệu lấy theo hình 14.12. Dấu cộng dùng cho sóng xuôi (dương), dấu trừ - cho sóng ngược.

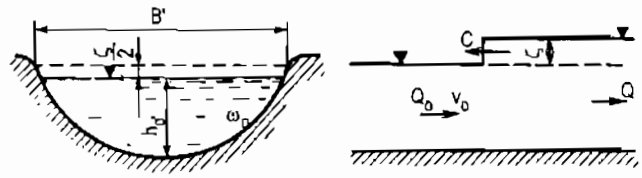
Đối với mặt cắt chữ nhật $\frac{\bar{\omega}_o}{B'} = h_o$ trong đó:

$$c = \sqrt{gh_o\left[1 + \frac{3}{2}\frac{\zeta}{h_o} + \frac{1}{2}\left(\frac{\zeta}{h_o}\right)^2\right]} \pm v_o \qquad (14\text{-}45')$$

[2] Theo TY 2H-108-48, NXB TCXDTĐ.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 14.12

Trong thực tế tính toán có thể lấy [bỏ qua đại lượng $(\zeta/h_0)^2$]:

- Đối với mặt cắt hình dạng bất kì

$$c = \sqrt{g\frac{\omega_0}{B'}\left(1+\frac{3}{2}\frac{B'}{\omega_0}\zeta\right)} \pm v_0 \qquad (14\text{-}46)$$

- Đối với mặt cắt chữ nhật

$$c = \sqrt{gh_0\left(1+\frac{3}{2}\frac{\zeta}{h_0}\right)} \pm v_0 \qquad (14\text{-}46')$$

Vận tốc truyền sóng âm đối với lòng dẫn có mặt cắt hình dạng bất kì được xác định theo công thức rút gọn:

$$c = \sqrt{g\frac{\omega_0}{B'}\left(1-\frac{3}{2}\frac{B'}{\omega_0}\zeta\right)} \pm v_0 \qquad (14\text{-}46'')$$

Dấu của v_0 cũng lấy như trong công thức (14-45).

Khi chiều cao sóng nhỏ ($\zeta < 0{,}1h_0$), đối với mặt cắt hình dạng bất kì lấy

$$c = \sqrt{g\frac{\omega_0}{B'}} \pm v_0 \qquad (14\text{-}47)$$

và tương ứng, đối với mặt cắt chữ nhật:

$$c = \sqrt{gh_0} \pm v_0 \qquad (14\text{-}47')$$

Đối với trường hợp truyền sóng trong nước tĩnh khi $v_0 = 0$ và chiều cao sóng nhỏ, ta có:

$$c = \sqrt{g\frac{\omega_0}{B'}} \quad \text{và} \quad c = \sqrt{gh_0} \qquad (14\text{-}48)$$

Các công thức nói trên xác định vận tốc truyền mặt sóng, tức là toàn bộ sóng nói chung.

Giá trị c tính theo công thức $c = \sqrt{gh_0}$ ghi trong bảng 14-6.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 14.6. Các giá trị vận tốc truyền sóng

h_o (m)	c (m/s)	h_o (m)	c (m/s)	h_o (m)	c (m/s)
0,5	2,22	1,0	3,13	2,0	4,43
0,6	2,42	1,2	3,43	2,5	4,95
0,7	2,62	1,4	3,70	3,0	5,42
0,8	2,80	1,6	3,96	4,0	6,25
0,9	2,97	1,8	4,20	5,0	7,00

Lưu lượng sóng :

$$\Delta Q = Q - Q_o = cB'\zeta \qquad (14\text{-}49)$$

Ghi chú: O. F. Vaxilep[1] có nhận xét khi các trị số lưu lượng sóng lớn, vận tốc truyền sóng nên xác định theo công thức:

$$c = \sqrt{gh_o}\sqrt{1 - \frac{\zeta}{2(h_o - \zeta)}} \qquad (14\text{-}49')$$

thay cho các công thức (14-46) và (14-47) nói trên là các công thức lấy theo TY 24-108-48.

Sau đây, sẽ không trình bày các giá trị hiệu chỉnh của O. F. Vaxilep, các số liệu đó được ghi trong các chỉ dẫn của TY.

a) Xác định các cao trình mực nước lớn nhất khi phụ tải của trạm thuỷ điện giảm đột ngột (phương pháp M. Đ. Tsectôuxôp)

Khi giảm đột ngột phụ tải ở trạm thủy điện thì lưu lượng kênh cũng đột ngột giảm theo từ Q_o (lưu lượng của kênh dẫn) tới Q'_o ; hiệu số $\Delta Q = Q_o - Q'_o$ bị ứ lại trong kênh dẫn sẽ làm mực nước trong kênh dâng lên. Sự dâng mực nước bắt đầu ở bể áp lực rồi truyền dần lên phía thượng lưu cho tới đầu kênh (mặt cắt ban đầu). Mực nước ở bể áp lực của trạm thuỷ điện (cuối kênh) dâng lên trong suốt thời gian mà sóng gây ra ở đó chưa truyền tới đầu kênh và sóng âm phản xạ trở lại kênh cung cấp xuống phía hạ lưu chưa đến được bể áp lực. Đó là thời điểm ứng với cao trình lớn nhất của mực nước trong bể áp lực.

Tính toán gần đúng

Tính toán tiến hành trên hai mặt cắt: mặt cắt O-O (tại bể áp lực) và mặt cắt L-L (tại đầu kênh, hình 14.13). Thời gian T mà sóng dương truyền từ bể áp lực tới đầu kênh lấy bằng T' là thời gian truyền của sóng âm.

Cao trình cực đại tại mặt cắt O-O được xác định theo công thức:

$$\nabla_{o\,max} = \nabla''_o + (\nabla''_o - \nabla_o - \zeta_o) \qquad (14\text{-}50)$$

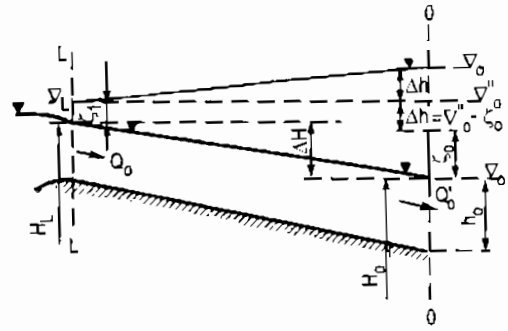
[1] O. F. Vaxilep. Thông báo của VHLKH Liên Xô, 1968, N°6.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

trong đó:

- $\nabla_{o\,max}$ - cao trình lớn nhất cần tìm tại tuyến O-O;
- ∇''_o - cao trình mực nước tại tuyến O-O ở thời điểm khi sóng xuất hiện ở đây đã truyền đến tuyến L-L;
- ∇_o - cao trình mực nước tại tuyến O-O ở thời điểm ban đầu;
- ζ_{so} - chiều cao sóng tại tuyến O-O ở thời điểm tính toán ban đầu (thời điểm giảm phụ tải).



Hình 14.13

Trình tự tính toán

1. Trước hết, tính chiều cao sóng ζ_{so} và vận tốc truyền sóng c_o tại mặt cắt O-O, tức là ở ngay thời điểm mới sinh sóng, bằng cách giải chung hai phương trình:

$$\Delta Q = Q_o - Q'_o = c_o B'_o \zeta_{so} \tag{14-51}$$

$$c_o = \sqrt{g\frac{\omega_o}{B'_o}\left(1+\frac{3}{2}\frac{B'_o}{\omega_o}\zeta_{so}\right)} - v_o \tag{14-52}$$

trong đó: ω_o, B'_o, v_o - ứng với thời điểm ban đầu tại mặt cắt O-O.

Có thể giải bằng phương pháp thử dần hoặc bằng đồ giải.

2. Tính độ cao sóng ζ_L tuyến L-L, tức là chiều cao mà sóng đã truyền tới đầu công trình. Cho ζ_L cần tìm một trị số bất kì, rồi tìm lần lượt các đại lượng sau:

- Diện tích mặt cắt ngang f_o của sóng tại tuyến O-O và tại tuyến L-L theo các công thức:

$$f_o = \left[B_o + m(\zeta_L + \Delta H)\right](\zeta_L + \Delta H) \tag{14-53}$$

$$f_L = (B_L + m\zeta_L)\zeta_L \tag{14-54}$$

trong đó:

m - hệ số mái dốc;

ΔH - độ hạ thấp tổng quát của mặt nước trước lúc sinh sóng (tức là hiệu số cao trình mặt thoáng ở đầu kênh và ở bể áp lực tại thời điểm ban đầu);

B_o - chiều rộng mặt nước ở mặt cắt O-O;

B_L - chiều rộng ban đầu của mặt nước tại tuyến L-L tức là trước lúc sóng truyền đến;

- Thể tích khối nước ứ trong kênh

$$W = \frac{1}{3}L(f_o + f_L + \sqrt{f_o \cdot f_L}) \tag{14-55}$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

hoặc kém chính xác hơn $$W = \frac{1}{2}(f_o + f_L)L \qquad (14\text{-}55')$$

- Vận tốc sóng tại tuyến L-L được tính song song bằng hai công thức:

$$c_L = \frac{2L(Q_o - Q'_o)}{W} - c_o \qquad (14\text{-}56)$$

$$c_L = \sqrt{g\frac{\omega_c}{B'_L}\left(1 + \frac{3}{2}\frac{B'_L}{\omega_L}\zeta_L\right)} - v_L \qquad (14\text{-}57)$$

trong đó: nếu c_L tính theo (14-56) và (14-57) tương đối gần nhau, thì ta lấy trị số ζ_L như đã chọn, trong trường hợp ngược lại ta cho ζ_L các giá trị mới và lặp lại các phép tính.

3. Xác định cao trình $\blacktriangledown''_o = \blacktriangledown_I$ (hình 14.13)

$$\blacktriangledown''_o = (\blacktriangledown_o + \Delta H) + \zeta_L \qquad (14\text{-}58)$$

trong đó: $\blacktriangledown_o$ và H là đã biết theo tài liệu ban đầu, còn ζ_L tìm như chỉ dẫn trong mục 2 của phép tính.

Sau khi biết các đại lượng ζ_o, ζ_L và $\blacktriangledown''_o$, ta tìm cao trình lớn nhất cuối cùng tại tuyến O-O theo công thức:

$$\blacktriangledown_{omax} = 2\blacktriangledown''_o - \blacktriangledown_o - \zeta_o$$

Để tính toán ước lượng theo TY 24-108-48, các trị số vận tốc sóng tại các mặt cắt O-O và L-L có thể tìm theo công thức (14-48). Lúc đó vận tốc trung bình của toàn kênh sẽ bằng:

$$c = \frac{c_o - c_L}{2} \qquad (14\text{-}59)$$

Chiều cao sóng tại tuyến O-O tìm theo công thức giản ước:

$$\zeta_o = \frac{\Delta Q_o}{c_o B'_o} \qquad (14\text{-}60)$$

Chiều cao sóng tại tuyến L-L tìm theo công thức:

$$\zeta_L = \frac{1}{2}\left(\sqrt{\frac{B_{tb}^2}{m^2} + 4\frac{\Delta Q}{mc}} - \frac{B_{tb}}{m} - \Delta H\right) \qquad (14\text{-}61)$$

sau đó tính như trên: $$\blacktriangledown''_o = (\blacktriangledown''_o + \Delta H) + \zeta_L$$

$$\blacktriangledown_{omax} = 2\blacktriangledown''_o - \blacktriangledown_o - \zeta_o$$

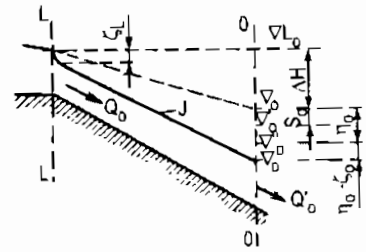
Ghi chú: Trong trường hợp dừng trạm thủy điện đột ngột lưu lượng $Q'_o = 0$ và $\Delta Q = Q_o - Q' = Q_o$. Phần tính toán còn lại vẫn theo trình tự như cũ.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

d) Xác định cao trình mực nước thấp nhất khi tăng đột ngột phụ tải TTĐ (Phương pháp của M. Đ. Tsectouxôp và B. Đ Kôtsanôpxki)

Khi tăng đột ngột phụ tải TTĐ, lưu lượng cần thiết cho trạm thủy điện cũng tăng lên đột ngột từ Q_o ban đầu (bằng lưu lượng kênh) đến Q'_o, do đó xuất hiện sóng âm với chiều cao ζ_o và lưu lượng sóng $\Delta Q = Q'_o - Q_o$. Sóng âm làm hạ thấp mực nước và theo dòng chảy truyền ngược lên đến đầu kênh (hình 14.14). Mức nước tại mặt cắtO-O (tức là tại bể áp lực) sẽ tiếp tục hạ xuống cho tới khi sóng phản xạ (xuất hiện ở đầu kênh, tức là tại mặt cắt L-L vào lúc sóng âm đã đi đến đây) đi tới bể áp lực (tuyến O-O). Lúc này ứng với mực nước thấp nhất trong bể áp lực mà ta cần tìm.



Hình 14.14

Trình tự tính toán

1. Tìm chiều cao sóng ζ_o và vận tốc c_o ở tuyến O-O trong bể áp lực tại thời điểm ban đầu theo công thức:

$$\Delta Q = Q'_o - Q_o = c_o B'_o \zeta_o \qquad (14\text{-}62)$$

và:
$$c = \sqrt{g\frac{\omega_o}{B'}\left(1 - \frac{3}{2}\frac{B'_o}{\omega_o}\zeta_o\right)} - v_o \qquad (14\text{-}63)$$

Đây là hai phương trình có hai ẩn số c_o và ξ_o có thể giải được bằng thử dần hoặc bằng đồ giải.

2. Xác định chiều cao sóng ở tuyến đầu kênh L-L bằng phương pháp gần đúng liên tiếp theo trình tự sau đây:

- Cho chiều cao sóng ζ_L một giá trị bất kì rồi tìm vận tốc sóng c_L:

$$c_L = \sqrt{g\frac{\omega_L}{B'}\left(1 - \frac{3}{2}\frac{B_L}{\omega_L}\zeta_L\right)} - v_L$$

- Xác định chiều sâu trung bình cho toàn bộ kênh

$$h_{tb} = h_{tbo} = \frac{2(Q'_o - Q_o)}{c(B_L + B_o)} \qquad (14\text{-}64)$$

trong đó: h_{tbo} - chiều sâu trung bình ở đầu kênh (tức là trước khi xuất hiện sóng);
c - vận tốc trung bình:

$$c = \frac{c_L - c_o}{2} \qquad (14\text{-}65)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

- Tính trị số đặc trưng lưu lượng trung bình (môđun lưu lượng) cho toàn kênh

$$\overline{K} = \overline{\omega}.\overline{C}\sqrt{\overline{R}} \qquad (14\text{-}66)$$

trong đó: $\overline{\omega}, \overline{C}$ và $\overline{R}$ - diện tích mặt cắt ướt, hệ số C trong công thức vận tốc của chuyển động đều (công thức Sêzi) và bán kính thủy lực tính đối với chiều sâu trung bình h_{tb}.

- Tính trị số η_o - độ hạ thấp mực nước tại mặt cắt bể áp lực ứng với lúc sóng truyền tới đầu kênh - theo công thức:

$$\eta_o = \frac{4(Q'_o - Q_o)}{c(B_L + B_o)} - \zeta_L \qquad (14\text{-}67)$$

- Tính lưu lượng sóng ở tuyến đầu kênh ΔQ_L:

$$\Delta Q_L = 2\overline{K}\sqrt{J_p} - (Q'_o + Q_o) \qquad (14\text{-}68)$$

Trong đó độ dốc trung bình J_p của mặt tự do trong kênh ứng với thời điểm sóng đi đến tuyến đầu kênh và được xác định theo công thức:

$$J_p = \frac{\eta_o + \Delta H - \zeta_L}{L} \qquad (14\text{-}69)$$

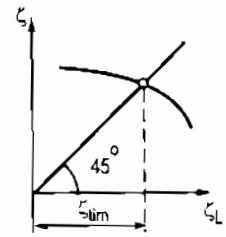
trong đó ΔH - độ chênh ban đầu của các cao trình mặt nước tự do trong kênh tại các tuyến L-L và O-O.

- Xác định chiều cao sóng tại tuyến đầu kênh

$$\zeta_L = \frac{\Delta Q}{c_L B_L} \qquad (14\text{-}70)$$

Trị số ζ_L tính theo (14-70) phải bằng trị số đã tự giả thiết ở trên, nếu không bằng nhau thì phải lập lại các phép tính.

Bài toán có thể giải bằng đồ giải. Sau khi cho $\zeta'_L, \zeta''_L, \ldots$ ta tính các trị số ζ'_x bằng phương pháp nói trên theo công thức (14-70) rồi sẽ vẽ đồ thị $\zeta'_o = f(\zeta_L)$ (hình 14.15). Trị số cần tìm ζ_L sẽ tìm theo đồ thị.



Hình 14.15

3. Tìm cao trình mực nước $\blacktriangledown_L$ tại tuyến đầu kênh ở thời điểm sóng âm truyền tới đây theo công thức:

$$\blacktriangledown_L = \blacktriangledown_{Lo} - \zeta_L \qquad (14\text{-}71)$$

trong đó: $\blacktriangledown_{Lo}$ là cao trình mực nước tại tuyến đầu kênh trước khi sóng truyền đến.

4. Tính cao trình $\blacktriangledown_o$ của mực nước tại tuyến bể áp lực tại thời điểm sóng âm truyền đến tuyến đầu kênh:

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$\blacktriangledown''_o = \blacktriangledown_o - \eta_o \qquad (14\text{-}72)$$

trong đó:

$\blacktriangledown_o$ - cao trình ban đầu tại tuyến bể áp lực;

η_o - độ hạ thấp cao trình đó trong thời gian sóng di chuyển trên kênh được tính theo công thức (14-67).

5. Sau khi giả thiết thời gian truyền sóng phản xạ từ đầu kênh đến bể áp lực bằng thời gian truyền sóng âm từ bể áp lực tới đầu kênh, ta tìm trị số cao trình thấp nhất của mực nước ở bể áp lực khi tăng đột ngột phụ tải của TTĐ, theo công thức:

$$\blacktriangledown_{omin} = 2\blacktriangledown''_o - \blacktriangledown_o + \zeta_o \qquad (14\text{-}73)$$

trong đó:

$\blacktriangledown''_o$ - cao trình mực nước tại tuyến bể áp lực tính theo công thức (14-72);

$\blacktriangledown_o$ - cao trình mực nước ban đầu tại tuyến bể áp lực, tức là đến khi thay đổi đột ngột phụ tải TTĐ;

ζ_o - chiều cao sóng tại tuyến bể áp lực ở thời điểm sóng xuất hiện.

Ghi chú: Theo TY 28-108-48 của Tổng cục Xây dựng thủy năng, việc xác định cao trình lớn nhất trong kênh dẫn được tiến hành đối với trường hợp giảm đột ngột toàn bộ phụ tải của TTĐ, tức là cho trường hợp ngừng hoàn toàn (ở đây $\Delta Q = Q_o$), còn xác định cao trình bé nhất - cho trường hợp tăng phụ tải đột ngột ở mức độ bằng công suất của một tổ máy TTĐ. Nếu TTĐ đang xét nằm trong hệ thống nhiều trạm, thì khả năng tăng đột ngột phụ tải phải dựa trên sự phân tích điều kiện làm việc của toàn bộ hệ thống các trạm.

B. NƯỚC VA

14.8. CÁC ĐẠI LƯỢNG CƠ BẢN

Nước va là sự biến thiên áp suất trong các đường ống có áp khi chất lỏng chuyển động không ổn định dưới tác dụng của lực quán tính. Nước va sẽ truyền trong ống với vận tốc c (m/s) như là sóng đàn hồi. Vận tốc đó phụ thuộc vào tính biến dạng (đàn hồi) của chất lỏng và của thành ống.

Đại lượng áp suất nước va ΔH (m) - là độ chênh áp suất của hai trạng thái chuyển động bình ổn và không bình ổn. Nếu $\Delta H > 0$, thì nước va được gọi là dương; khi $\Delta H < 0$, nước va âm.

Cột nước H (m) ở mặt cắt đang xét của đường ống là độ cao đo áp tính từ mực nước hạ lưu. Khi tính toán nước va trong các đường ống có áp ngắn của TTĐ và các trạm bơm, có thể không cần xét đến tổn thất cột nước và cột nước vận tốc. Trong

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

trường hợp này, khi chuyển động ổn định, tại tất cả các mặt cắt của ống dẫn cột nước sẽ giống nhau và bằng cột nước thủy tĩnh H_0 (hình 14.20), còn khi chuyển động không ổn định sẽ bằng $H = H_0 + \Delta H$.

Áp suất p (kG/cm^2) (trung bình) tác dụng lên một mặt cắt đang xét của đường ống được xác định bởi cột nước và chiều cao trọng tâm của mặt cắt đó so với mực nước hạ lưu, $p = \gamma(H - z)$.

Vận tốc trong đường ống v (m/s) phụ thuộc vào lưu lượng trong đó tuabin hoặc lưu lượng máy bơm. Lưu lượng lớn nhất ứng với vận tốc lớn nhất v_{max}.

Xác định nước va là để tính toán độ bền của đường ống và kiểm tra khả năng gây chân không trong một số đoạn nào đó của ống. Nước va có ảnh hưởng đáng kể đến các trạng thái chuyển tiếp của các tổ máy tuabin và bơm như lúc khởi động, dừng, ngắt điện và các chế độ khác và vì thế cần phải xét đến chúng trong tính toán.

Các phương pháp xác định các đại lượng nước va gồm có: a) giải tích; b) đồ thị hoặc số; c) tính toán bằng máy tính điện tử hoặc máy tính tương tự.

Tính giải tích bằng các công thức cho phép ta dễ dàng đi đến các kết quả cuối cùng, nhưng độ chính xác bị giới hạn bởi các sơ đồ tính toán được dùng là các sơ đồ đơn giản. Phương pháp đồ thị cho phép xét đến các điều kiện thực tế một cách đầy đủ hơn, còn tính bằng máy tính điện tử cho ta kết quả hoàn chỉnh nhất, đặc biệt quan trọng là cho các hệ thống phức tạp, phân nhánh của các đường ống có áp.

14.9. NHỮNG ĐIỀU KIỆN BAN ĐẦU ĐỂ TÍNH TOÁN NƯỚC VA

Các trạng thái làm việc của các tổ máy quyết định các điều kiện ban đầu để tính toán nước va ở các trạm thủy điện.

Khi đóng tuabin sẽ gây nên nước va dương trong đường ống, còn khi mở - nước va âm. Đại lượng nước va phụ thuộc vào thời gian đóng T_d và mở T_o. Ngoài ra, đại lượng nước va còn phụ thuộc nhiều vào chế độ đóng tuabin theo thời gian.

Trong các thiết bị bơm, nước va xuất hiện khi đóng và mở các khóa trên đường ống, khi mở và ngắt các máy bơm.

Vận tốc truyền sóng nước va trong đường ống có đường kính và chiều dày thành ống cố định (thép, gang, cao su) được xác định theo công thức tổng quát N. E. Jucôpxki:

$$c = \frac{c_{cl}}{\sqrt{1 + \frac{\varepsilon}{E}\psi}} \qquad (17\text{-}74)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

trong đó:

c_{cl} - vận tốc âm thanh trong chất lỏng xác định bằng biểu thức $c_{cl} = \sqrt{g\varepsilon/\gamma}$ và đối với nước bằng 1425 m/s;

ε - môđun đàn hồi thể tích của chất lỏng, đối với nước lạnh bằng $2,1.10^4$ kG/cm^2;

E - môđun đàn hồi của vật liệu thành ống, đối với thép bằng $2,1.10^6$ kG/cm^2, đối với gang 1.10^6 kG/cm^2, đối với bêtông $1,5 \div 2.10^5$ kG/cm^2, đối với cao su $20 \div 60$ kG/cm^2, đối với kính hữu cơ $0,25 \div 0,4.10^5$ kG/cm^2;

γ - trọng lượng riêng của chất lỏng;

ψ - hệ số không thứ nguyên xét đến tính biến dạng của thành ống dẫn.

Đối với đường ống thành mỏng, đồng chất, tựa tự do (thép, cao su, kính, hữu cơ v.v...) thì:

$$\psi = D/\delta \qquad (14\text{-}75)$$

trong đó: D - đường kính của đường ống;

δ - chiều dày thành ống.

Đối với ống bêtông cốt thép $$\psi = \frac{D}{\delta(1+9,5\alpha)} \qquad (14\text{-}76)$$

trong đó:

D - đường kính trong của đường ống;

δ - chiều dày thành ống;

α - hệ số cốt thép của cốt thép vòng bằng f/δ, trong đó f - diện tích mặt cắt của cốt thép vòng trên 1m dài thành ống. Thường $\alpha = 0,015 \div 0,05$.

Đối với ống dẫn bằng gỗ: $$\psi = \frac{240}{p}\frac{E}{\varepsilon} \qquad (14\text{-}77)$$

trong đó: p - đại lượng áp suất dùng để tính mặt cắt của đường ống (m cột nước);

E - môđun đàn hồi của đai (thép).

Pha của nước va là thời gian cần thiết để cho sóng nước va kịp đi lại trên hai lần chiều dài của đường ống. Đối với ống dẫn đơn giản có mặt cắt cố định trên chiều dài L thì:

$$t_{ph} = \frac{2L}{c} \qquad (14\text{-}78)$$

Các đại lượng không thứ nguyên: Độ mở tương đối $\alpha = a/a_{max}$, trong đó: a - độ mở của cánh hướng dòng hoặc khóa ở thời điểm t; a_{max} - đại lượng lớn nhất của độ mở.

Trạng thái thay đổi độ mở có thể xác định bằng hàm số thời gian:

$$\alpha = f(t) \qquad (14\text{-}79)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Thường người ta dùng quy luật đường thẳng để biểu diễn sự thay đổi độ mở:

$$\alpha = \alpha_{bd} \pm \frac{t}{T} \qquad (14\text{-}80)$$

trong đó đối với trường hợp mở lấy dấu cộng và $T = T_o$, còn đối với trường hợp đóng - lấy dấu trừ và $T = T_d$.

Đại lượng tương đối của nước va là:

$$\xi = \frac{H - H_o}{H_o} = \frac{\Delta H}{H_o} \qquad (14\text{-}81)$$

Do đó nếu biết ξ, thì áp suất nước va:

$$\Delta H = \xi H_o \qquad (14\text{-}82)$$

Đại lượng tương đối của lưu lượng và vận tốc:

$$q = \frac{Q}{Q_{max}} = \frac{v}{v_{max}} \qquad (14\text{-}83)$$

trong đó:

Q, v - lưu lượng và vận tốc tại mặt cắt đang xét của đường ống trong chuyển động không ổn định;

Q_{max}, v_{max} - lưu lượng, vận tốc lớn nhất trong chuyển động ổn định.

Khi tính toán nước va, các thông số có giá trị đáng kể là các thông số sau:

- Hằng số quán tính của đường ống có áp T_1:

$$T_1 = \frac{Q_{max}}{gH_o} \sum \frac{l_i}{f_i} \quad (s) \qquad (14\text{-}84)$$

- Hệ số mặt cắt của ống dẫn ρ $\qquad \rho = \dfrac{cQ_{max}}{2gH_o f}$ $\qquad (14\text{-}85)$

trong đó: L - chiều dài của đường ống đo áp (m);

H_o - cột nước tĩnh (m);

c - vận tốc truyền nước va trong ống dẫn (m/s);

g - gia tốc rơi tự do, bằng 9,81 m/s^2;

l_i và f_i - chiều dài các đoạn ống dẫn và diện tích mặt cắt ngang của chúng (nếu mặt cắt thay đổi theo chiều dài).

14.10. TÍNH TOÁN ÁP SUẤT NƯỚC VA BẰNG GIẢI TÍCH

Áp suất nước va tại mặt cắt cuối A - A (hình 14.20) của ống dẫn có thể xác định gần đúng, nếu không xét đến tính đàn hồi của nước và thành ống dẫn, theo công thức:

$$\xi^A = -T_L \frac{dq}{dt} \quad \text{và} \quad \Delta H^A = \xi^A H_o \qquad (14\text{-}86)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Đại lượng lớn nhất của áp suất nước va tại mặt cắt cuối của ống dẫn có áp có thể đánh giá ước lượng bằng công thức

$$\xi^A_{max} = \pm(1,3 \div 1,5)\frac{T_L}{T} \qquad (14\text{-}86')$$

trong đó: T - thời gian đóng ($T_đ$) hoặc mở (T_m) của cánh hướng dòng.

Để có tính toán đầy đủ về nước va phải xét đến biến dạng đàn hồi của nước va của thành ống và các đặc trưng lưu lượng của tuabin, máy bơm hoặc van điều chỉnh.

Nếu thời gian đóng hoặc mở tuabin $T \le t_{pha} = 2L/c$, thì gọi là nước va trực tiếp.

Trị số nước va trực tiếp trong trường hợp đóng hoàn toàn ($q_c = 0$) được xác định theo công thức của N. E. Jucôpxki:

$$\Delta H = \frac{cv_{bd}}{g} \quad \text{hoặc} \quad \xi = 2\rho q_{bd} \qquad (14\text{-}87)$$

trong đó: v_{bd} - vận tốc nước trong ống dẫn ở thời điểm bắt đầu đóng;

q_{bd} - lưu lượng ban đầu (tương đối).

Theo công thức (14-87) suy ra, đại lượng nước va trực tiếp không phụ thuộc vào chế độ mở theo thời gian.

Nếu thời gian đóng hay mở đường ống $T_đ$ hay T_o lớn hơn pha $T > t_{pha} = 2L/c$, thì nước va gọi là gián tiếp. Trong trường hợp này, đại lượng tương đối của lưu lượng trong ống dẫn tại mặt cắt A - A (hình 14.20) của tuabin hoặc của khóa đối với pha thứ n có thể xác định theo công thức:

$$q^A_n = q^A_{bd} - \frac{\xi^A_n}{2\rho} - \frac{1}{\rho}\sum_{i=1}^{i=n}\xi^A_i \qquad (14\text{-}88)$$

trong đó:

ξ^A_n - đại lượng tương đối của nước va tại mặt cắt A - A ở cuối pha thứ n;

ξ^A_i - các giá trị tương ứng ở cuối các pha thứ nhất, thứ hai...

q^A_{bd} - đại lượng ban đầu của lưu lượng tương đối tại mặt cắt A - A của đường ống.

Lưu lượng chảy qua tuabin khi số vòng quay không thay đổi được xác định gần đúng bằng hệ thức:

$$q^A = \alpha\sqrt{1 + \frac{\xi^A_i}{1 - h^o}} \qquad (14\text{-}89)$$

trong đó: α - độ mở tương đối của tuabin;

h^o - hệ số xét đến đặc trưng tháo của tuabin. Đối với tuabin phản kích.

$$h^o = 0,5 - \frac{n_s}{600} \qquad (14\text{-}89a)$$

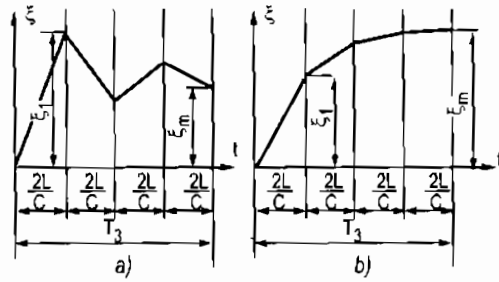
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Đại lượng hệ số vòng quay n_s, được xác định theo các công thức (15-7) và (15-7'). Đối với tuabin xung kích $h^o = 0$.

Đối với trường hợp đóng tuabin sau khi cắt phụ tải, tức là trong các điều kiện tăng vận tốc quay của nó, hệ số h^o có thể lấy gần đúng bằng không.

Nếu đã cho quy luật điều chỉnh tuabin theo thời gian (14-79), bằng cách giải các phương trình (14-88) và (14-89) ta có thể xác định đại lượng áp suất nước va ở mặt cắt cuối A - A của đường ống. Tuy nhiên đối với hệ này cần giải lần lượt cho pha thứ nhất, thứ hai, ..., thứ n. Khi tính bằng phương pháp giải tích, để cho đơn giản có thể xem một cách gần đúng là độ mở tuabin thay đổi tuyến tính theo thời gian. Ở đây ta xét hai trường hợp điển hình: hoặc là đại lượng lớn nhất của nước va xảy ra vào cuối pha thứ nhất ($\xi_{max} = \xi_1$), còn tất cả các pha tiếp theo đều cho trị số nước va nhỏ hơn (hình 14.16a), đấy là nước va pha đầu; hoặc là áp suất tăng lên theo thời gian và trị số lớn nhất của nước va đạt được ở cuối quá trình đóng hoặc mở ($\xi_{max} = \xi_m$) (hình 14.16b) nước va giới hạn.



Hình 14.16: *Sự thay đổi đại lượng tương đối của áp suất nước va khi đóng theo quy luật đường thẳng*

Từ các phương trình (14-88) và (14-89) ta dễ dàng xác định công thức cho nước va pha đầu:

$$\xi_1 = 2\rho\left[(\alpha_{bd} = \frac{\rho\alpha_1^2}{1-h^o}\right] - \sqrt{\left(\alpha_{bd} + \frac{\rho\alpha_1^2}{1-h^o}\right)^2 - \alpha_{bd}^2 + \alpha_1^2} \qquad (14\text{-}90)$$

Dùng công thức (14-90) cho trường hợp đóng ($\alpha_{bd} > \alpha_1$) ta được $\xi_1 > 0$ - tức là nước va dương; còn đối với trường hợp mở ($\alpha_1 > \alpha_{bd}$) ta được $\xi_1 < 0$ - nước va âm. Ở đây α_1 - độ mở ở cuối pha đầu được xác định theo công thức (14-79) hoặc (14-80). Ta có thể có kết quả chính xác hơn, nếu trong biểu thức (14-90) ta thay α bằng các giá trị của đại lượng tương đối của khả năng tháo q_o của tuabin ứng với từng độ mở, tức là ứng với lưu lượng ở độ mở đang xét, với vận tốc quay và với cột nước tính toán.

Đại lượng nước va giới hạn được xác định theo công thức sau đây:

$$\xi'_T = \frac{T_1\Delta q}{2T}\left[\frac{T_1\Delta q}{T(1-h^o)} \pm \sqrt{\left(\frac{T_1\Delta q}{T(1-h^o)}\right)^2 + 4}\right] \qquad (14\text{-}91)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

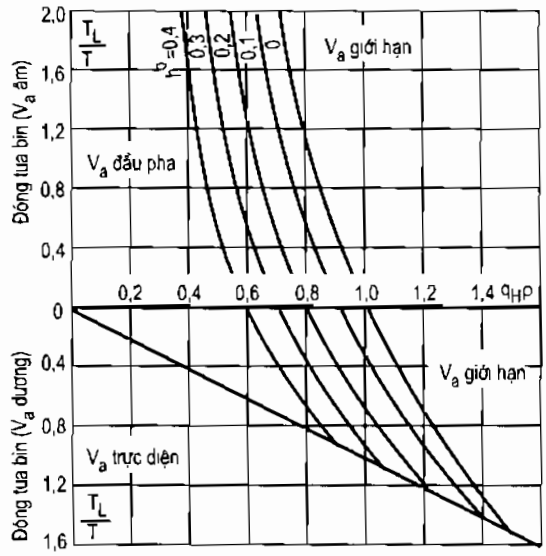
trong đó:

$\Delta q = |q_{bd} - q_c|$ - trị số tuyệt đối của hiệu số lưu lượng tương đối ban đầu và cuối;

T - thời gian mở hoặc đóng ứng với sự biến thiên lưu lượng từ q_{bd} đến q_c;

T_1 - hằng số quán tính được xác định theo công thức (14-84): dấu cộng ứng với trường hợp nước va dương (đóng), còn dấu trừ – nước va âm (mở). Công thức (14-91) không xét đến tính đàn hồi của ống và của nước.

Trong thực tế ta tiến hành tính toán nước va như sau: nếu là nước va gián tiếp (T_d hoặc $T_o > 2L/c$) thì tính áp lực nước va ξ_1, ở cuối pha đầu theo công thức (14-90) và ξ_T ở cuối lúc đóng hoặc mở theo công thức (14-91). Lấy số có trị số tuyệt đối lớn hơn làm trị số tính toán. Để tính toán được dễ dàng, trên hình 14-17 đã cho một đồ thị, theo đó và các trị số T_1/T và ρq_{bd} ta có thể xác định được, đối với trường hợp đang xét phải sử dụng công thức nào. Nếu là nước va trực tiếp (T_d hoặc $T_o < 2L/c$), thì trong trường hợp đóng hoàn toàn, tính toán sẽ tiến hành theo công thức của N. E Jucôpxki (14-87), còn đối với đóng hoặc mở không hoàn toàn theo công thức (14-90), trong đó α_1 được thay bằng α_c (α_c - độ mở lúc cuối của tuabin).



Hình 14.17: *Đồ thị để xác định loại nước va khi thay đổi độ mở theo thời gian theo quy luật đường thẳng*

Các công thức dùng để xác định nước va tại mặt cắt cuối của đường ống và các điều kiện sử dụng chúng được ghi trong bảng 14.7.

Để thiết kế đường ống, điều quan trọng là cần biết đại lượng nước va lớn nhất tương ứng với trường hợp tính toán nào. Đối với nước va âm khi mở tuabin, trường hợp bất lợi nhất là cắt tức thời hoàn toàn công suất, tức là mở tuabin từ α_{kt} (độ mở ứng với lúc tổ máy chạy không tải) đến $\alpha_c = 1$. Đối với nước va dương, đôi khi người ta nghĩ rằng đại lượng nước va lớn nhất là ứng với trường hợp đóng một phần từ α_{bd} đến $\alpha_c = 0$, nước va lúc đó sẽ là trực tiếp (nước va "ngắn"). Lúc đó:

$$\xi_{max} = \frac{2T_1}{T_d} \qquad (14\text{-}92)$$

https://tieulun.hopto.org

Bảng 14.7. Bảng kê các công thức để tính nước va trong các đường ống không chia nhánh khi độ mở biến thiên tuyến tính theo thời gian

Loại nước va	Điều kiện xuất hiện	Giá trị tính toán của nước va	Số công thức	Điều kiện áp dụng	Giá trị các hệ số
Nước va trực tiếp	T_d hoặc $T_o \le \frac{2L}{c}$	$\Delta H = \frac{cv_{bd}}{H}$ hoặc $\xi = 2\rho q_{bd}$ $\xi = 2p\left[\left(\alpha_{bd} + \frac{\rho\alpha_c}{1-h_o}\right) - \sqrt{\left(\alpha_{bd} + \frac{\rho\alpha_c^2}{1-h_o}\right) - \alpha_{bd}^2 + a_c^2}\right]$	(14-87) (14-90) đối với nước va trực tiếp $\alpha_1 = \alpha_c$	Chỉ để cho đóng hoàn toàn $\alpha_c = 0$; $q_c = 0$ Để cho mở và cho trường hợp đóng không hoàn toàn $\alpha_c > 0$	$\xi = \frac{\Delta H}{H_o}$ ρ theo (14-85) T_1 theo (14-84)
Nước va gián tiếp	T_d hoặc $T_o > \frac{2L}{c}$	$\xi_1 = 2\rho\left[\left(\alpha_{bd} + \rho\frac{\alpha_1^2}{1-h}\right) - \sqrt{\left(\alpha_{bd} + \rho\frac{\alpha_1^2}{1-h^o}\right) - \alpha_{bd}^2 + a_1^2}\right]$ $\xi = \frac{T_1\Delta q}{2T}\left[\frac{T_1\Delta q}{T(1-h^o)} \pm \sqrt{\left(\frac{T_1\Delta q}{T(1-h^o)}\right)^2 + 4}\right]$	(14-90) (14-91)	Trong trường hợp pha thứ nhất của nước va (hình 14-17) Trong trường hợp nước va giới hạn (hình 14-17)	h^o - theo (14-89a) đối với tuabin phản kích và $h = 0$ đối với tuabin xung kích và khóa

Ghi chú: Trong trường hợp đường kính và chiều dày thành ống thay đổi theo chiều dài, bằng các công thức tính toán trong bảng ta vẫn có được các kết quả đủ chính xác, nếu trong các công thức đó ta thay c và ρ bằng các trị số trung bình được tính theo công thức:

$$c_{tb} = \frac{L}{\sum \frac{l_i}{c_i}}; \qquad \rho_{tb} = \frac{\Sigma \rho_i l_i}{L}$$

trong đó: c_{tb} và ρ_{tb} - các trị số trung bình; các đại lượng với chỉ số i được xác định đối với từng đoạn ống dẫn có chiều dài l_i; L - chiều dài tổng cộng của ống dẫn.

www.thuvien247.net

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Tuy nhiên công thức (14-92) chỉ đúng với trường hợp nếu xem tốc độ đóng là hằng số. Với giả thiết như vậy, thời gian để đóng một phần $T'_đ$ từ $\alpha_{bđ}$ đến $\alpha_c = 0$ sẽ bằng:

$$T'_đ = \alpha_{bđ} T_đ \qquad (14\text{-}93)$$

trong đó: $T_đ$ - thời gian đóng hoàn toàn tuabin từ $\alpha = 1$ đến $\alpha = 0$.

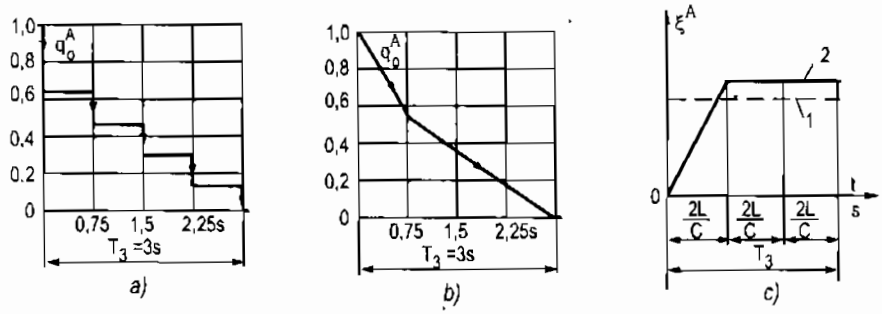
Để tránh nước va "ngắn" quá lớn, cần phải giảm tốc độ đóng trong vùng các độ mở bé.

Chế độ biến thiên hoàn toàn và lí tưởng của độ mở tuabin do G. I. Kriptsencô xây dựng, cho phép tìm được dạng quan hệ có lợi nhất

$$q_o^A = f(t)$$

trong đó: q_o^A - trị số tương đối của khả năng thoát nước của tuabin hoặc khóa khi $H = H_o$.

Chế độ lí tưởng cho ta áp suất nước va bé nhất tại mặt cắt cuối ống ứng với thời gian đóng tuabin hoặc đóng khóa đã cho và ứng với điều kiện cố định của áp suất nước va trong thời gian điều chỉnh (hình 14.18c, đường I). Ở đây độ mở phải thay đổi đột ngột. Trên hình 14.18a xét thí dụ về chế độ đóng lí tưởng đối với $T_đ = 3$ sec và thời gian pha $t_{pha} = 0,75$ sec.



Hình 14.18: *Các chế độ đóng lí tưởng và hoàn thiện*

Trong trường hợp chế độ đóng lí tưởng, áp suất nước va tại mặt cắt cuối A - A của ống dẫn khi đóng hoàn toàn ($\alpha_c = 0$) bằng:

$$\xi_{bđ}^A = \frac{2\rho}{2m+1} \qquad (14\text{-}94)$$

trong đó: m - số pha, $m = cT_đ/2L \geq 1$.

Ở chế độ đóng lí tưởng, áp suất nước va trên toàn bộ chiều dài ống dẫn có trị số giống nhau bằng $\xi_{bđ}^A$ (giống trường hợp đóng tức thời). Chế độ đóng lí tưởng cho phép giảm nhiều đại lượng áp suất nước va, nhưng trong thực tế lại không thể thực hiện được.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Chế độ đóng hoàn thiện (đường II) trong biểu đồ nước va trên hình 14-18c cho áp suất nước va hơi lớn hơn so với chế độ lí tưởng tại mặt cắt cuối của ống dẫn, nhưng trong thực tế chế độ đó lại thực hiện được. Trên hình 14.18b trình bày chế độ đóng hoàn thiện với những điều kiện giống như chế độ đóng lí tưởng. Áp suất nước va trong trường hợp thay đổi độ mở theo chế độ hoàn thiện đối với mặt cắt cuối A - A của ống được xác định bằng biểu thức sau:

$$\xi_c^A = \xi_o^A \left[\left(\alpha_{bd} + \frac{\alpha_c^2 \xi_o^A}{2(1-h^o)} \right) - \sqrt{\left(\alpha_{bd} + \frac{\alpha_c^2 \xi_o^A}{2(1-h^o)} \right)^2 - \alpha_{bd}^2 + \alpha_c^2} \right] \qquad (14\text{-}95)$$

trong đó: ξ_o^A - áp suất nước va khi đóng hoàn toàn tuabin. Khi $\alpha_{bd} = 0$ từ công thức (14-95) ta có $\xi_o^A = \xi_o^A \alpha_{bd}$

$$\xi_o^A = \frac{2\rho}{2m-1} \qquad (14\text{-}95')$$

Công thức (14-95) rất vạn năng và tiện lợi cho việc tính toán trong mọi trường hợp nước va. Chỉ cần chú ý là với nước va trực tiếp, khi $T < 2L/c$, đại lượng m nên lấy bằng một. Hình thức của chế độ đóng hoàn thiện được quyết định theo kết quả tính toán. Trong trường hợp chế độ hoàn thiện, áp suất nước va giảm dần theo đường ống cho đến đầu trên cùng gần như theo quy luật đường thẳng.

Sự cân bằng áp suất trong ống dẫn sau khi đóng hoặc mở xong tuabin. Trong tính toán đường ống, không những phải xét đến đặc điểm của trạng thái chuyển động không ổn định ở thời điểm có sự thay đổi độ mở mà cả ở thời điểm sau khi đã đóng hoặc mở xong. Các công thức (14-91) và (14-95) chứng tỏ áp suất sau khi đóng (mở) xong không bằng áp suất của chế độ ổn định tương ứng. Sự cân bằng áp suất trong ống dẫn sau khi đóng xong sẽ xảy ra dần dần, nhưng tất cả các pha tiếp theo đều giữ nguyên tỉ số (nếu không tính đến tổn thất)

$$\frac{\xi_{m+1}^A}{\xi_m^A} = \frac{\xi_{m+2}^A}{\xi_{m+1}^A} = \ldots = \frac{\rho q_o^A C - 1}{\rho q_o^A C + 1} \qquad (14\text{-}96)$$

Trong biểu thức này ξ_m^A - đại lượng tương đối của nước va ứng với lúc đóng (mở) xong (khóa hoặc tuabin), theo (14-91) $\xi_m^A = \xi_T^A$.

Có thể có hai trường hợp:

1. Nếu $\rho q_o^A C > 1$, thì $\frac{\rho q_o^A C - 1}{\rho q_o^A C + 1} > 0$

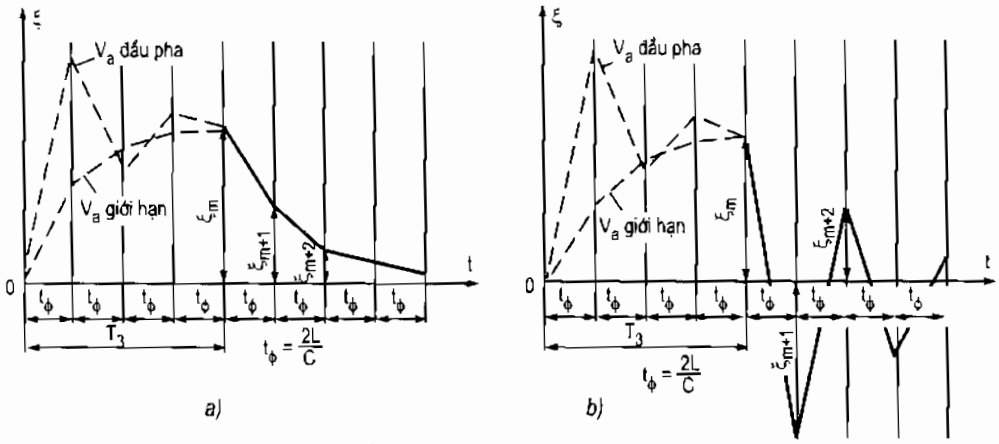
Vì vậy sự cân bằng áp suất trở lại xảy ra bằng con đường giảm dần đại lượng nước va một cách không chu kỳ (hình 14.19a).

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

2. Nếu Nếu $\rho q_o^A C < 1$, thì $\frac{\rho q_o^A C - 1}{\rho q_o^A C + 1} < 0$

Do đó đại lượng nước va cứ sang pha tiếp theo là đổi dấu, tức là nếu khi đóng mà có $\xi_m > 0$ (nước va dương), thì ở pha sau sẽ có $\xi_{m+1} < 0$ (nước va âm). Quá trình cân bằng áp suất trở lại gồm những dao động tuần hoàn có tính chất tắt dần (hình 14-19b). Đại lượng nước va đổi dấu ở pha sau sau khi thay đổi xong độ mở của tuabin có khi còn gọi là nước va nghịch.



Hình 14.19: *Sự cân bằng áp suất trở lại sau khi đóng hoặc mở xong*
a) Sự cân bằng trở lại không tuần hoàn; b) Dao động tắt dần

Nước va nghịch đặc biệt quan trọng trong trường hợp đóng hoàn toàn tuabin hoặc khóa, khi $q_o^A = 0$. Lúc đó theo công thức (14-96) ta có:

$$\frac{\xi_{m+1}^A}{\xi_m^A} = \frac{\xi_{m+3}^A}{\xi_{m+1}^A} = ... = -1 \qquad (14\text{-}96')$$

tức là khi đóng hoàn toàn, nước va ngược trong đường ống về trị số tuyệt đối sẽ bằng ξ_m. Trong trường hợp này sự cân bằng áp suất trở lại là quá trình dao động áp suất không tắt dần. Tất nhiên là trong thực tế tất cả các dao động đó đều tắt dần do sự phát tán năng lượng mà ta chưa xét được trong các công thức đã nói trên. Cần xác định đại lượng ξ_m theo công thức (14-87) trong trường hợp nước va trực tiếp và theo các công thức (14-91) và (14-95) trong trường hợp nước va gián tiếp. Có thể xảy ra trường hợp, nước va âm khi đóng đường ống (nước va nghịch) có trị số lớn hơn nước va âm ứng với lúc mở. Hiện tượng này cũng dẫn đến sự cần thiết phải khống chế đại lượng nước va dương cho phép lớn nhất.

Lấy một thí dụ, giả thử khi cột nước $H_o = 60$m và đóng hoàn toàn ($q_o^A C = 0$) ta được $\xi_m = 1{,}3$. Điều đó có nghĩa là áp suất cực đại tại mặt cắt dưới của đường ống là $H = 60(1 + 1{,}3) = 138$m. Giá trị nước va ngược tại đây được xác định theo công

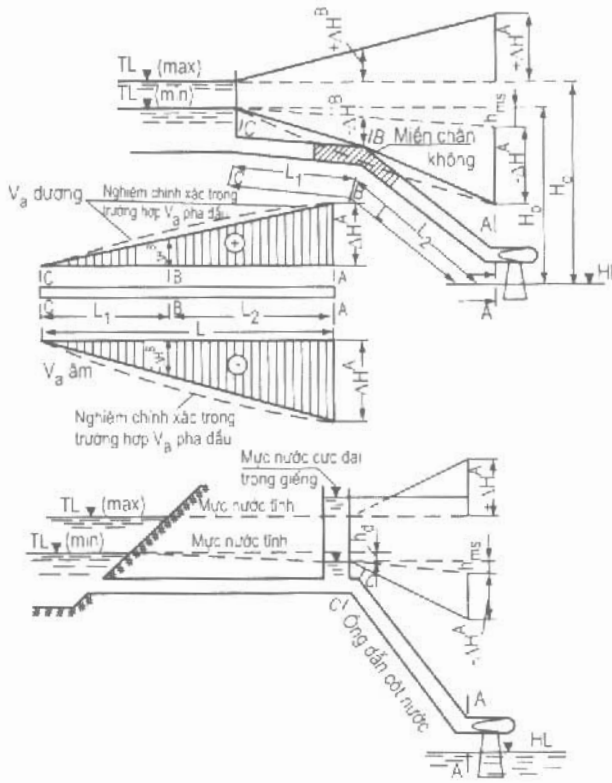
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

thức (14-96) sẽ bằng $\xi_{m+1} = -1,3$, tức là áp suất tại mặt cắt dưới của ống dẫn ở cuối pha tiếp theo sau khi đóng xong, đối với hạ lưu, bằng $(1 - 1,3)60 = -18$m. Nếu mặt cắt đó nằm ở cao trình hạ lưu thì ở đây sẽ sinh ra sự gián đoạn dòng chảy, vì chân không 18m lớn hơn trị số giới hạn 10m cột nước; do đó cần có biện pháp hạ thấp đại lượng nước va dương.

Vẽ đường đo áp của cột nước theo chiều dài ống dẫn. Tất cả các công thức xác định nước va đều cho ta trị số của nó ở mặt cắt A - A cuối ống (hình 14.20). Nhưng để thiết kế đường ống còn cần phải biết áp suất tại mặt cắt bất kì trên cả chiều dài của nó.

Đối với nước va dương và âm giới hạn, cũng như chế độ thay đổi độ mở hoàn thiện, đại lượng áp suất nước va ΔH thay đổi tuyến tính theo chiều dài đường ống. Để vẽ biểu đồ ta kéo dài đường ống ra, đặt trị số ΔH^A ở mặt cắt A - A. Trị số này tính theo công thức (14-91) hoặc (14-95) (hình 14.20a). Đặt ΔH lên phía trên mực nước tĩnh thượng lưu (mực nước trong bể áp lực), ta được biểu đồ nước va dương.



Hình 14.20: *Phân bố áp suất nước va trên chiều dài ống dẫn có áp*
a) Khi đường dẫn không áp; b) Khi đường dẫn có áp.

Trong trường hợp đường dẫn có áp cùng với giếng điều áp, cũng vẽ biểu đồ lên trên đường mực nước tĩnh (hình 14.20b). Khi đường dẫn rất dài và tổn thất thủy lực trong ống lớn, thì có thể dẫn đến sự tăng áp suất trong ống lên một ít. Trong trường hợp ấy nên vẽ biểu đồ nước va từ mực nước trong giếng điều áp ứng với lúc nước va đạt trị số lớn nhất hoặc từ mực nước ban đầu. Biểu đồ nước va âm vẽ với mực nước thượng lưu[1] bé nhất và đặt phía

[1] Ở đây đôi khi tính thấy vận tốc trong ống dẫn, do đó cả nước va nhỏ hơn chút ít so với cột nước tính toán; tuy nhiên theo quan điểm về khả năng hình thành chân không thì trường hợp đó lại nguy hiểm hơn.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

dưới dòng đường đo áp có xét đến tổn thất cột nước trong ống dẫn. Trong trường hợp đường dẫn có áp nối với bể cân bằng, thì vẽ đường nước va âm ở bên dưới đường đo áp có tính đến tổn thất cột nước trong ống có áp. Muốn có kết quả chính xác hơn, ta phải xét đến độ hạ thấp mực nước trong giếng trong thời gian mở tuabin.

Đôi khi đối với nước va pha đầu, người ta lấy gần đúng sự phân bố áp suất nước va theo chiều dài của ống dẫn như là đường thẳng. Trị số áp suất chính xác hơn tại mặt cắt bất kì của nước va âm pha đầu cũng được xác định theo công thức (14-90), nhưng trong trường hợp đó phải lấy với mặt cắt đang xét, hoàn toàn không xét đến đoạn ống dẫn nằm phía dưới. Do đó, nếu cần phải tìm đại lượng nước va tại mặt cắt B - B (hình 14-20a), thì giá trị hệ số ρ lấy không thay đổi. Khi xác định T_1 và thời gian t_{pha}, cần thay L bằng chiều dài L_1. Trình tự tính toán nước va vẫn giữ nguyên.

Đối với nước va dương pha đầu tính toán được tiến hành theo công thức (14-90), trong đó thí dụ như đối với mặt cắt B - B ta có $\Delta H^B_{max} = \Delta H^A_{max} - \Delta H^{AB}$, trong đó ΔH^{AB} được xác định theo công thức (14-90) với các giá trị T_1 và ρ tương ứng với chiều dài ống dẫn giữa các mặt cắt A - A và B - B tức là với L_2 (hình 14.20a).

Thí dụ: Chiều dài ống dẫn L = 400m; đường kính 4m; lưu lượng $Q_{max} = 44\ m^3/s$; cột nước $H_o = 100m$; $n_s = 200$; thời gian đóng và mở tuabin T = 3 sec; vận tốc truyền nước va c = 1000 m/s. Xác định đại lượng nước va khi đóng tuabin từ $\alpha_{bd} = 1$ đến $\alpha_c = 0$ khi mở từ $\alpha_{bd} = 0,2$ đến $\alpha_c = 1$ ở mặt cắt cuối A - A của ống dẫn và ở mặt cắt B - B tại khoảng cách $L_1 = 150m$ tính từ bể áp lực (sơ đồ trên hình 14.20a); $f = 12,5m^2$.

Giải:

1- Theo công thức (14-85):
$$\rho = \frac{cQ_{max}}{2gH_o f} = \frac{1000.44}{2.9,81.100.12,5} = 1,79$$

Theo công thức (14-84):
$$T_l^A = \frac{Q_{max}L}{gH_o f} = \frac{44.400}{9,81.100.12,5} = 1,43\ sec$$

$$T_l^B = 1,43 \cdot \frac{150}{400} = 0,54\ sec$$

Theo công thức (14-89a):
$$h^o = 0,5 - \frac{200}{600} = 0,17$$

2- Theo biểu đồ trên hình 14.17 theo ρq_{bd} ta được trị số nước va lớn nhất khi đóng là ứng với nước va giới hạn [công thức tính toán (14-91)], còn đối với trường hợp mở - với nước va pha đầu [công thức tính toán (14-90)].

3- Nước va dương, $\Delta q = 1$

$$\xi_T^A = \frac{1,43}{2.3}\left[\frac{1,43}{3(1-0,17)} + \sqrt{\left(\frac{1,43}{3(1-0,17)}\right)^2 + 4}\right] = 0,63$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$\Delta H^A = 0,63.100 = 63m$$

Theo tam giác đồng dạng, ta có: $\Delta H^B = 63\frac{150}{400} = 23,6m$

4- Nước va âm:

Thời gian pha $t_{pha}^A = \frac{2.400}{1000} = 0,8\ sec$

$$t_{pha}^B = \frac{2.150}{1000} = 0,3\ sec$$

Độ mở ở cuối pha đầu:

- Đối với mặt cắt A - A được xác định theo công thức (14-80)

$$\alpha_1 = 0,2 + \frac{t_{pha}}{T_o} = 0,2 + \frac{0,8}{3} = 0,467$$

- Đối với mặt cắt B - B $\alpha_1 = 0,2 + \frac{0,3}{3} = 0,3$

Theo công thức (14-90) ta được:

$$\xi_1^A = 2.1,78\left[\left(0,2 + \frac{1,78.0,467^2}{1-0,17}\right) - \sqrt{\left(0,2 + \frac{1,78.0,467^2}{1-0,17}\right)^2 - 0,2^2 + 0,467^2}\right] =$$

$$= -0,427$$

$$\xi_1^B = 2.1,78\left[\left(0,2 + \frac{1,78.0,3^2}{1-0,17}\right) - \sqrt{\left(0,2 + \frac{1,78.0,3^2}{1-0,17}\right)^2 - 0,2^2 + 0,3^2}\right] = -0,21$$

hoặc: $\Delta H^A = -100.0,427 = -42,7m$

và: $\Delta H^B = -100.0,21 = -21m$

Nếu tính theo tam giác thì:

$$\Delta H^B = -42,7\frac{150}{400} = -16m$$

tức là ta được đại lượng nước va âm nhỏ hơn so với lời giải chính xác.

Tính toán đại lượng nước va trong trường hợp chế độ thay đổi độ mở tuabin là hoàn thiện.

Đối với các điều kiện đóng hoàn toàn, theo công thức (14-95) ta được khi $m = \frac{1000.3}{2.400} = 3,75$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$\xi_o^A = \frac{2.1,78}{2(3,75-1)} = 0,647; \quad \Delta H_c^A = 100.0,647 = 64,7m$$

tức là nhỏ hơn so với kết quả tính theo công thức (14-91) khi đóng tuabin theo quy luật đường thẳng.

Đối với tuabin mở, theo công thức (14-95) ta được:

$$\xi_c^A = 0,647\left[\left(0,2+\frac{1.0,647}{2(1-0,17)}\right)-\sqrt{\left(0,2+\frac{1.0,647}{2(1-0,17)}\right)^2-0,2^2+1^2}\right] = -0,21$$

hoặc: $$\Delta H_c^A = -100.0,21 = -21,0m$$

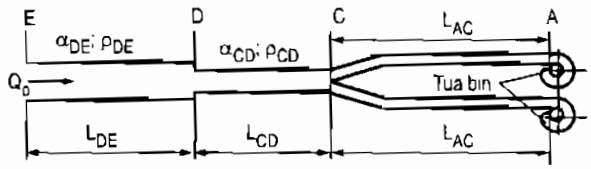
Áp suất nước va tính ra cũng bé hơn khi mở theo quy luật đường thẳng được tính theo công thức (14-90).

14.11. TÍNH TOÁN ÁP SUẤT NƯỚC VA BẰNG PHƯƠNG PHÁP ĐỒ THỊ

Phương pháp đồ thị cho phép vẽ biểu đồ toàn phần của sự thay đổi áp suất trong ống dẫn khi chuyển động không ổn định[1]. Ở đây bằng cách vẽ không phức tạp lắm ta có thể xét đến hàng loạt yếu tố, mà trong tính toán giải tích ta phải xét đến một cách gần đúng hoặc không hoàn toàn không đưa được vào phép tính. Thí dụ, trong phương pháp đồ thị ta vẽ rất dễ dàng đồ thị nước va cho mọi chế độ thay đổi độ mở thực $\alpha = f(t)$, trong khi đó bằng các công thức giải tích ta phải xem sự thay đổi độ mở là tuyến tính theo thời gian. Phương pháp đồ thị cho phép xét đến các đặc trưng thực của tuabin, của máy bơm hoặc của các bộ phận chặn dòng khác.

Phương pháp đồ thị còn tiện lợi trong việc tính toán nước va trong các đường ống phức tạp (ống lồng và ống phân nhánh).

Phương pháp đồ thị để vẽ biểu đồ nước va dựa trên cơ sở ứng dụng hệ phương trình chuỗi xuất phát từ lời giải tổng quát của phương trình nước va của N. E. Jucôpxki. Nếu lấy ống dẫn có hình dạng bất kì (ví dụ như trên hình 14.21), thì đối với mỗi một đoạn mà ta có thể xem như đường kính và chiều dày thành ống



Hình 14.21

---

[1] Cụ thể hơn về phương pháp đồ thị để tính toán nước va xem trong quyển "Nước va và chế độ điều chỉnh hợp lý tuabin của trạm thủy điện"; G. I. Kriptsenkô. M. NXBNL, 1951. "Sổ tay thủy lực", M. A. Môscôp. M. NXBXD, 1954; "Các trạm thủy điện" do giáo sư Gubin F. F. hiệu đính. NXB Năng lượng, 1972.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

không đổi (các đoạn AC, CD và DE), có thể viết được hai nhóm phương trình chuỗi sau đây:

$$\xi_t^C - \xi_{t+0}^D = 2\rho_{CD}(q_t^C - q_{t+\theta}^D);$$
$$\xi_t^D - \xi_{t+\theta}^C = -2\rho_{CD}(q_t^C - q_{t+\theta}^C) \qquad (14\text{-}97)$$

Trong các phương trình (14-97) viết cho các đoạn CD của ống dẫn thì ξ - đại lượng tương đối của nước va ($\xi = \Delta H/H_o$) tại mặt cắt có kí hiệu bằng chỉ số ở phía trên và tại thời điểm tương ứng với chỉ số phía dưới; q - lưu lượng tương đối hoặc vận tốc trung bình của dòng chảy tại mặt cắt đang xét theo cách xác định (14-83); ρ - hằng số mặt cắt được tính theo công thức (14-85) cho từng đoạn. Như vậy, đối với đoạn CD:

$$\rho_{CD} = \frac{c_{CD}Q_{max}}{2gH_o f_{CD}}$$

trong đó: t - thời điểm tùy ý;

θ - thời gian cần thiết để sóng đàn hồi truyền trong đoạn ống đang xét.

Đối với đoạn CD: $$\theta = \frac{L_{CD}}{c_{CD}} \qquad (14\text{-}98)$$

Theo quan điểm hình học, thì mỗi phương trình trong hệ phương trình chuỗi là một phương trình đường thẳng trong các trục tọa độ ξ, q và nó được sử dụng để vẽ đồ thị nước va.

Trong hệ tọa độ (q, ξ) ta vẽ các đường cong biểu thị lưu lượng tương đối của tuabin, máy bơm hoặc khóa nước $q^A = f(\alpha, \xi^A)$. Các đường cong này lập thành một hệ với thông số α.

Lưu lượng của van, vòi phun và cả tuabin phản lực, trong tính gần đúng lần thứ nhất có thể biểu thị bằng hệ thức

$$q^A = \alpha\sqrt{1+\xi^A} \qquad (14\text{-}99)$$

Đường $q^A = f(\alpha, \xi^A)$ khi α = const sẽ là các đường parabôn xuất phát từ điểm $\xi = -1$ (điểm đó ứng với cột nước bằng không).

Đối với tuabin phản kích, hệ thức q^A chính xác hơn có thể xây dựng bằng đường đặc trưng tổng hợp chính (xem chương 15). Ở đây trạng thái tức thời của tuabin được đặc trưng bằng đại lượng mở van $\alpha(t)$ và bằng trị số tần số quay dẫn suất n'_{lt} là đại lượng theo công thức (15-6) có xét đến nước va có thể tìm được bằng biểu thức sau:

$$n'_{lt} = \frac{n_t D}{\sqrt{H_p}\cdot\sqrt{1+\xi_t^A}}$$

https://tieulun.hopto.org

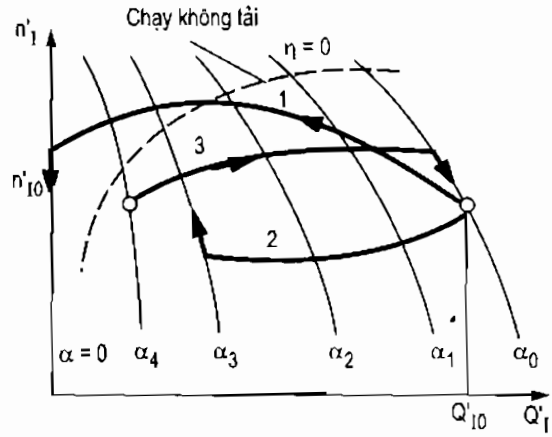
www.thuvien247.net

trong đó: n_t - tần số quay tại thời điểm đang xét;

D - đường kính tuabin;

H_p - cột nước công tác (ban đầu)

Sự thay đổi của n'_{lt} và $\alpha(t)$ trong trường tọa độ của đặc trưng tổng hợp chính sẽ cho ta quỹ đạo của các trạng thái tức thời của tuabin sau thời gian điều chỉnh. Các quỹ đạo tức thời này ghi trên hình 15.22 đối với trường hợp cắt phụ tải (đường 1), giảm phụ tải với độ mở từ α_o đến α_1 (đường 2) và tăng phụ tải từ α_4 đến α_o (đường 3).



Hình 14.22: *Các đường cong biểu diễn khả năng tháo tương đối của tuabin q(ξ, α) và quỹ đạo của các trạng thái tức thời*

Khi sử dụng công thức (14-99), ta phải biểu diễn lưu lượng tuabin qua các thông số dẫn suất bằng hệ thức:

$$q^A = q_o.\sqrt{1+\xi^A}$$

trong đó: $q = \dfrac{Q'_{lt}}{Q'_{lo}}$ - các phép tính tiến hành theo công thức (14-99), nhưng thay α bằng q_o, còn đại lượng của nó - tìm theo các trạng thái tức thời. Vì bản thân các đại lượng này cũng phụ thuộc vào áp suất nước va ξ^A nên tính toán phải thực hiện bằng phương pháp lặp.

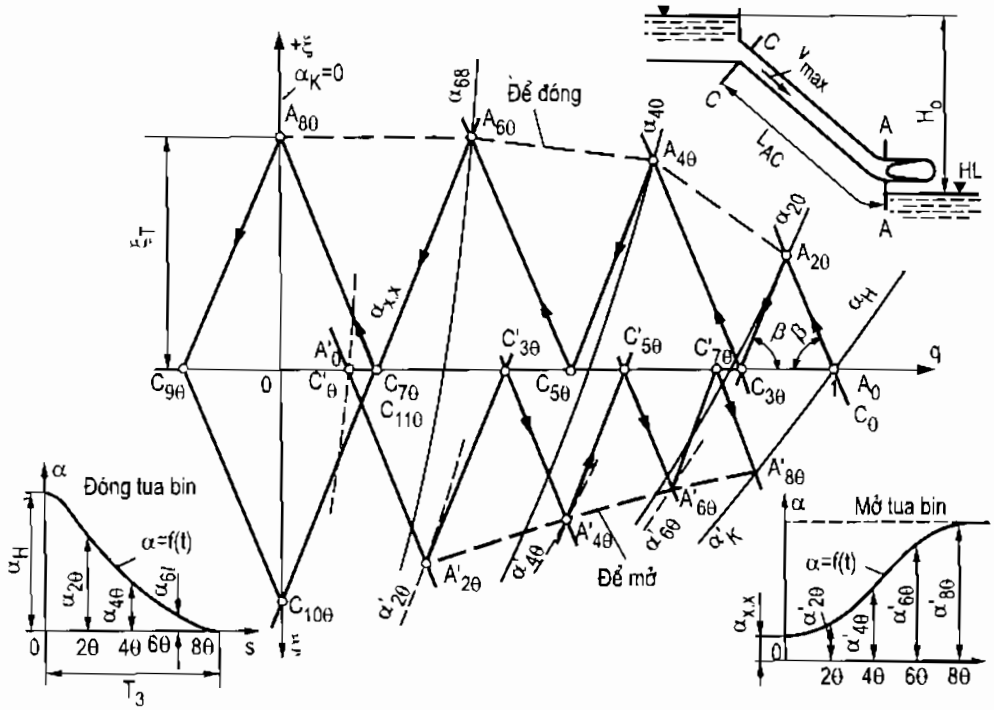
Để đơn giản các phép tính, đôi khi ta lấy $n'_{lt} = n'_{10}$ = const, điều đó cho phép biến đổi được trạng thái điều chỉnh đã cho $\alpha(t)$ thành hệ thức $q_o(t)$, mà theo đó ta tiến hành tính toán nước va.

Để minh họa việc sử dụng trong thực tế các phương trình chuỗi (14-97) bằng phương pháp đồ thị để tính nước va, ta xét một số ví dụ vẽ biểu đồ cho một đường ống đơn giản (hình 14-23). Giả thiết cần vẽ biểu đồ nước va tại mặt cắt cuối của đường ống cho trường hợp đóng tuabin hoàn toàn. Thời gian đóng T_d. Chế độ đóng cho theo đồ thị $\alpha = f(t)$. Các đường cong lưu lượng của tuabin vẽ đối với α_{bd}, $\alpha_{2\theta}$, $\alpha_{4\theta}$, $\alpha_{6\theta}$. Đường mở số không trùng với trục tung. Mỗi một điểm trong trường tọa độ q, ξ cho ta một chế độ được đặc trưng bằng áp suất và vận tốc trong mặt cắt đường ống. Điểm A_o tương ứng với chế độ tại mặt cắt cuối của đường ống ở thời điểm ban đầu được xác định bởi các tọa độ $q^A = 1$ và $\xi^A = 0$. Chế độ tại mặt cắt C

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

đặc trưng bằng áp suất cố định $\xi^C = 0$. Do đó, tất cả các điểm đặc trưng chế độ của mặt cắt C phải nằm trên trục hoành q.



Hình 14.23: *Phương pháp đồ thị để xác định đại lượng nước va (đường ống đơn giản)*

Phương trình thứ nhất của hệ (14-97) cho ta:

$$\xi_o^A - \xi_\theta^C = 2\rho(q_o^A - q_o^C) \qquad (14\text{-}100)$$

do đó, từ đẳng thức $\xi_0^C = \xi_o^A$ ta được $q_\theta^C = q_o^A$, tức là điểm C_0 trùng với điểm A_o.

Tiếp đó ta viết phương trình của nhóm thứ hai (14-97):

$$\xi_\theta^C - \xi_{2\theta}^A = 2\rho(q_\theta^C - q_{2\theta}^A) \qquad (14\text{-}101)$$

Đây là phương trình đường thẳng đi qua điểm C và lập với trục hoành một góc β, trong đó tgβ = 2ρ. Sau khi, theo các số liệu ban đầu, bằng công thức (14-85) xác định được đại lượng ρ, thì có thể vẽ đường thẳng cần tìm. Ở đây nhất thiết phải tuân theo các quan hệ về tỉ lệ xích của ξ và q. Theo phương trình (14-101) điểm $A_{2\theta}$ phải nằm trên đường thẳng này. Trong lúc đó điểm A_{20} lại phải nằm trên đường cong $q^A = f(\xi^A, \alpha_{2\theta})$ với độ mở $\alpha_{2\theta}$. Do đó điểm $A_{2\theta}$ nằm ở giao điểm của đường thẳng vẽ theo công thức (14-101) và đường cong đó.

Vì vậy, có thể đi đến kết luận quan trọng là trong trường các tọa độ (ξ, q) biểu đồ nước va trong pha đầu được biểu thị bằng đường thẳng.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Biết A_{20}, ta dễ dàng xác định được vị trí điểm C_{30} theo phương trình:

$$\xi^A_{2\theta} - \xi^C_{3\theta} = 2\rho(q^A_{20} - q^C_{30})$$

Đây là phương trình đường thẳng đi qua điểm $A_{2\theta}$ và cắt trục hoành với góc β trong đó $tg\beta = 2\rho$. Biết rằng ξ^C luôn luôn bằng không, ta tìm điểm $C_{3\theta}$ là giao điểm của đường thẳng với trục hoành.

Tiếp theo có thể không cần viết các phương trình nữa, vì trình tự tìm các điểm A và C vẫn như cũ, bằng cách vẽ các đường nghiêng với các góc β. Theo các điểm A_o - $A_{8\theta}$ bằng đường chấm chấm ta vẽ được biểu đồ nước va trong thời gian đóng T_d. Có thể tiếp tục vẽ tiếp. Trong trường hợp này độ mở của tuabin bằng không ($\alpha = 0$) và các điểm $A_{8\theta}$, $C_{9\theta}$, $A_{10\theta}$, $C_{11\theta}$ tạo nên một hình thoi. Điều đó chứng tỏ có sự dao động áp suất không tắt dần với biên độ $\pm \xi_T$. Điểm $A_{10\theta}$ đặc trưng cho nước va ngược, điều đó có ý nghĩa lớn trong việc đánh giá khả năng hình thành chân không và đánh giá trị số độ chân không đó trong ống dẫn. Nếu đóng không hoàn toàn ($\alpha_c > 0$), thì sự dao động áp suất sẽ tắt dần và đại lượng nước va ngược sẽ nhỏ hơn.

Biết được thời gian pha $t_{pha} = 2\theta$ theo công thức (14-78) ta có thể phát triển biểu đồ tìm được thành các đường cong $\xi^A = f(t)$ và $q^A = f_1(t)$.

Về nguyên tắc thì việc vẽ biểu đồ cho trường hợp mở tuabin (hình 14.23) không khác gì trường hợp đóng đã xét ở trên. Giả thử cần vẽ đồ thị nước va cho trường hợp mở tuabin trong thời gian T_o từ độ mở không tải α_{kt} đến độ mở hoàn toàn α'_c. Sự thay đổi độ mở của máy hướng dòng của tuabin được cho bằng đồ thị $\alpha = f(t)$. Bằng nội suy ta tìm được vị trí đường cong ứng với α_k. Các điểm A'_o và C'_θ sẽ nằm trên giao điểm của đường cong $q^A = f(\xi, \alpha_{kt})$ và trục hoành. Sau khi viết phương trình tương tự như (14-101), ta tìm được điểm $A'_{2\theta}$ trên giao điểm của đường cong q^A ứng với độ mở $\alpha'_{2\theta}$ mà điểm đó cũng có thể tìm bằng nội suy. Sau đó tìm điểm C'_{30} và tất cả các điểm tiếp theo cho đến $A'_{8\theta}$. Bằng các điểm $A'_o - A'_{8\theta}$ có thể vẽ được biểu đồ nước va trong mặt cắt A. Nếu tiếp tục vẽ cho $\alpha = \alpha'_c$, thì dần dần đại lượng nước va sẽ tắt dần và trong ống dẫn sẽ trở lại trạng thái của điểm A_o.

Trên hình 14.24 trình bày một ví dụ về xác định nước va trong ống có các đường kính lồng nhau để minh họa cho trường hợp phức tạp hơn. Tất cả các số liệu tính toán đã ghi trên hình vẽ. Trình tự vẽ và các phương trình tính toán cho trường hợp này được trình bày dưới đây:

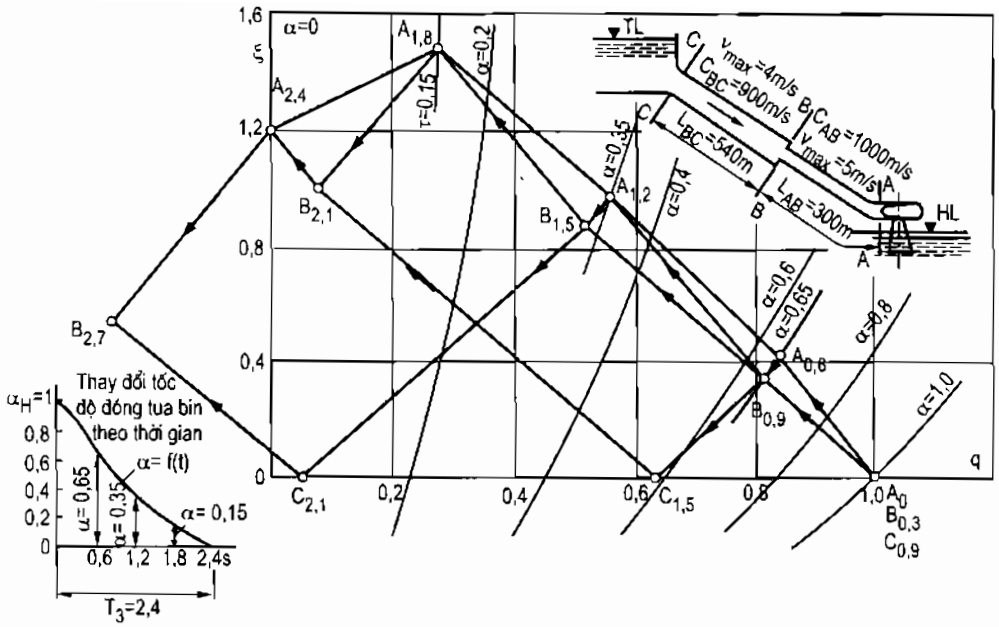
1. Theo $\xi^B_{0,3} - \xi^A_{0,6} = 2\rho_{AB}(q^B_{0,3} - q^{A)}_{0,6}$ và $q^A = f(\xi, \alpha_{0,6})$ ta tìm $A_{0,6}$.

2. Theo: $\xi^A_{0,6} - \xi^B_{0,9} = 2\rho_{AB}(q^A_{0,6} - q^B_{0,9})$ và $\xi^C_{0,3} - \xi^B_{0,9} = 2\rho_{BC}(q^C_{0,3} - q^B_{0,9})$

ta được $B_{0,9}$.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 14.24: *Phương pháp đồ thị để xác định trị số nước va (đường ống phức tạp)*

3. Theo $\xi^B_{0,9} - \xi^C_{1,5} = 2\rho_{CB}(q_{0,9} - q_{1,5})$ và các điều kiện $\xi^C = 0$ ta được $C_{1,5}$.

4. Theo $\xi^B_{0,9} - \xi^A_{1,2} = -2\rho_{AB}(q^B_{0,9} - q^A_{1,2})$ và $q^A = f(\xi, \alpha_{1,2})$ ta được $A_{1,2}$.

5. Theo $\xi^A_{1,2} - \xi^B_{1,5} = 2\rho_{AB}(q^A_{1,2} - q^B_{1,5})$ và $\xi^C_{0,9} - \xi^B_{1,5} = -2\rho_{BC}(q^C_{0,9} - q^B_{1,5})$ ta được $B_{1,5}$.

Quá trình lặp lại y như trên, nên không cần viết lại các phương trình. Kết quả là ta vẽ được đồng thời các biểu đồ nước va trong các mặt cắt A - A và B - B.

Qua ví dụ đã khảo sát ta dễ dàng hiểu được phương pháp đồ thị để vẽ các biểu đồ nước va trong trường hợp đường ống phức tạp mà dưới dạng tổng quát phương pháp đó gồm các bước sau: xác định vị trí các điểm ứng với các mặt cắt hai đầu của đường ống theo một trong các phương trình của hệ (14-97) và theo các điều kiện biên: đối với các mặt cắt có mực nước tự do, $\xi = 0$; đối với các mặt cắt ở tuabin hoặc van, theo hệ thức $q = f(\xi, \alpha)$ và đối với các mặt cắt nằm ở đầu mút các đường ống (khóa đang đóng hoặc tuabin đang đóng), $q = 0$. Vị trí các điểm ứng với các mặt cắt trung gian của đường ống được tìm bằng hai hoặc một vài phương trình trong hệ (14-97), viết cho các đoạn đường ống nối liền với các mặt cắt đang xét. Nếu thời gian truyền sóng (nước va) đối với các đoạn khác nhau của đường ống là θ_1, θ_2, θ_3 thì thời đoạn tính toán để vẽ phải lấy bằng ước số chung lớn nhất của chúng. Tuy nhiên lúc đó thường ta phải tính toán theo các

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

thời đoạn rất nhỏ. Kết quả là làm cho số lượng bản vẽ tăng lên, do đó làm tăng khối lượng tính toán.

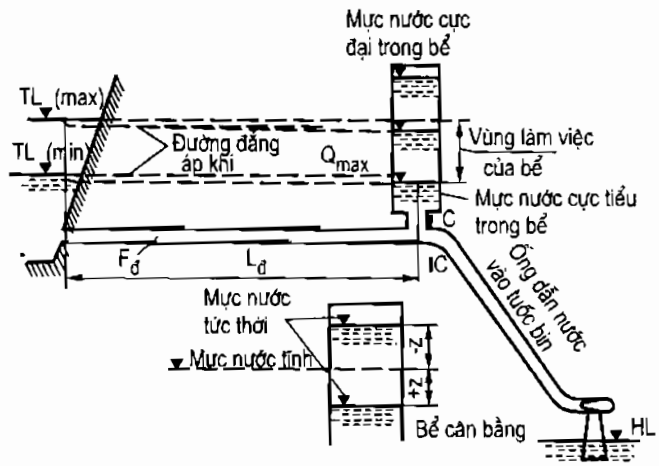
Với mục đích làm giảm số điểm tính toán, cho phép có độ lệch so với các giá trị θ_1 khoảng ± 10%.

Khi lập chương trình tính nước va bằng MTĐT, ta cũng dùng các phương trình chuỗi (14-97), trong đó phải dùng một môđun thời đoạn tính toán Δ nhất định. Lúc đó (sau khi lập sơ đồ tính toán) đường ống sẽ gồm các đoạn, mà đối với từng đoạn có $\theta_i = k_i\Delta$, trong đó k_i - số nguyên. Cũng có thể dùng cách đó cả trong tính toán đồ thị cho các đường ống phức tạp.

C - GIẾNG ĐIỀU ÁP

14.12. CÁC CHỈ DẪN SƠ BỘ

Các giếng điều áp được xây trong các trạm thủy điện với đường dẫn có áp (hình 14.25) để giảm nước va trong đường ống có áp và để cải thiện điều kiện điều chỉnh các tổ máy.



Hình 14.25: *Sơ đồ đường ống có áp và giếng điều áp*

Sự cần thiết phải có giếng điều áp chủ yếu là để duy trì hằng số quán tính T_c (14-84). Thực tế chứng tỏ là đối với các TTĐ lớn, có công suất bản thân tương đối lớn trong toàn bộ hệ thống năng lượng (đến 20 - 25%), thì quán tính cho phép của đường ống có áp nằm trong khoảng $T_1 = 3,5 \div 4,5$ sec.

Đối với TTĐ công suất bé và làm việc trong hệ thống năng lượng, quán tính của đường ống có áp có thể đạt tới $T_1 = 5,5 \div 6,5$ sec.

Khi trên các đường ống có xả không tải, quán tính cho phép tăng lên đến $T_1 = 12 \div 15$ sec và hơn nữa.

Nếu trị số hằng số quán tính của ống dẫn T_1 tính ra lớn hơn các giới hạn nói trên, thì cần phải có giếng điều áp. Để giải quyết vấn đề đưa giếng điều áp vào tổ

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

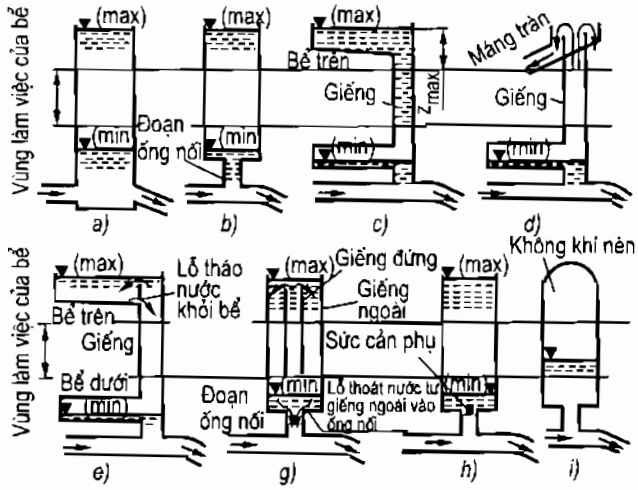
hợp công trình ống dẫn có áp, cũng như để xác định loại và kết cấu của giếng, phải dựa trên cơ sở tính toán kinh tế - kĩ thuật.

Các loại giếng điều áp thường hay được dùng nhất là (hình 14.26):

a) Giếng hình trụ đơn giản (hình 14.26a);

b) Giếng hình trụ có ống nối (hình 14.26b);

c) Giếng có các buồng (hình 14.26c).



Hình 14.26: *Các loại giếng điều áp*

Các loại giếng trên thường được đặt ngầm trong đá. Các buồng thường có dạng các hầm bên ngắn, đôi khi buồng trên được xây dựng trên mặt đất dưới dạng các bể hở;

d) Giếng có đường tràn (hình 14.26d). Thường đường tràn được xây ở buồng trên (hình 14.26e), điều đó cho phép không phải xả nước tràn mà đồng thời lại giảm được thể tích buồng trên so với loại vẽ trên hình 14.26c;

e) Giếng vi sai (hình 14.26g);

g) Giếng có sức cản bổ sung (hình 14.26h);

h) Giếng điều áp khí nén (hình 14-26i).

Tất cả các kích thước cơ bản của giếng điều áp đều được xác định bằng tính toán thủy lực. Ở đây có các yêu cầu sau:

1. Giếng điều áp phải đảm bảo sự điều chỉnh của tổ máy được ổn định, tức là không để xuất hiện các tự dao động. Tất cả các kích động làm mặt nước trong giếng dao động phải tắt dần. Điều đó có thể đạt được bằng cách chọn diện tích mặt cắt ngang của giếng (trong phạm vi của vùng làm việc) đủ lớn (hình 14.25 và 14.26).

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

2. Trong mọi điều kiện vận hành, không cho phép mực nước dâng lên cao quá mép giếng, tức là không được để cho nước tràn ra khỏi giếng, nếu điều đó không được đề cập đến trong cấu trúc.

3. Không cho phép không khí chui được vào đường ống dẫn vào trạm. Điều đó có thể xảy ra trong trường hợp thể tích giếng điều áp hoặc thể tích buồng dưới của nó không đủ lớn.

Để thỏa mãn các điều kiện trên, tính toán thủy lực của giếng điều áp sẽ gồm: xác định diện tích bé nhất của mặt cắt ngang của giếng trong vùng làm việc để thỏa mãn được yêu cầu về ổn định của giếng; xác định mực nước dâng lớn nhất trong giếng khi đóng tuabin và mực nước giảm nhiều nhất khi mở hoặc đóng nhanh tuabin. Mực nước thấp nhất khi đóng tuabin sẽ xảy ra vào đầu của nửa chu kì thứ hai.

14.13. CÁC CƠ SỞ ĐỂ TÍNH TOÁN THỦY LỰC GIẾNG ĐIỀU ÁP

Trong sơ đồ tính toán thông thường, người ta không xét đến ảnh hưởng của đường ống dẫn vào tuabin và cho rằng sự điều chỉnh lưu lượng được tiến hành ở ngay sau giếng điều áp, mà do có sự đóng mở tuabin tương đối nhanh (bằng máy điều tốc) nên thường cho rằng sự thay đổi lưu lượng xảy ra tức thời. Các thành đường dẫn có áp và nước được xem là các vật không đàn hồi và không nén.

Chuyển động trong hệ đang xét hoàn toàn có thể biểu diễn bằng các phương trình vi phân sau đây:

1. Phương trình động lực học

$$\frac{dv}{dt} = \frac{g}{L_d}(z - h_d) \qquad (14\text{-}102)$$

2. Phương trình liên tục:

$$\frac{dz}{dt} = \frac{1}{F_g}(Q_T - vF_d) \qquad (14\text{-}103)$$

trong các phương trình đó:

v - vận tốc nước trong đường dẫn (m/s); $v = Q_d/F_d$;

Q_d - lưu lượng đường dẫn (m^3/s);

F_d - diện tích mặt cắt ngang của nó (m^2), giả thiết là F_d cố định trên cả chiều dài của đường dẫn;

L_d - chiều dài đường dẫn (m).

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Nếu mặt cắt đường dẫn thay đổi theo chiều dài thì lấy vận tốc tính toán bằng vận tốc v của đường dẫn tại mặt cắt $F_đ$ ở giếng điều áp, còn chiều dài tính toán của đường dẫn xác định theo công thức:

$$L_đ = \frac{\Sigma L_i v_i}{v} \qquad (14\text{-}104)$$

trong đó:

L_i và v_i - chiều dài các đoạn đường dẫn và vận tốc trong chúng;

z - tọa độ đặc trưng cho vị trí của mực nước tức thời trong giếng (m), đại lượng z được đo từ mực nước thượng lưu (hình 14.25) trong đó z được xem là dương, nếu mực nước trong giếng nằm thấp hơn mực nước thượng lưu;

F_g - diện tích mặt cắt của giếng;

Q_T - lưu lượng ống dẫn bắt đầu từ giếng tính toán (có thể là một hoặc vài ống), Q_T có thể là đại lượng cố định hoặc là hàm số của thời gian t hay z;

$h_đ$ - tổn thất thủy lực trên đoạn từ thượng lưu đến giếng điều áp. Trong trường hợp tổng quát:

$$h_đ = \xi_đ \frac{1}{2g} | v | . v \qquad (14\text{-}104a)$$

Ở đây: $\xi_đ$ - hệ số tổn thất tổng cộng, kể cả tổn thất trong đường dẫn và tại mặt cắt vào giếng điều áp. Đại lượng $\xi_đ$ phụ thuộc vào kết cấu nối giữa giếng với đường dẫn và vào tỉ số lưu lượng $Q_đ$ và Q_T. Khi tính toán có thể lấy:

$$h_đ = \left(\frac{\xi_{đc}}{2g} + \frac{L_đ}{C^2 R} + \frac{1}{2g} \right) | v | v + \frac{\xi_{gb}}{2g} | v_g | v_g \qquad (14\text{-}104b)$$

trong đó:

$\xi_{đc}$ - hệ số tổng cộng của tất cả các tổn thất cục bộ trong công trình lấy nước và đường dẫn; số hạng thứ hai trong ngoặc - hệ số tổn thất theo chiều dài;

C - hệ số Sêzi;

ξ_{gb} - hệ số sức cản bổ sung tại chỗ nối giữa giếng và đường dẫn;

$$v_g = \frac{Q_g}{F_đ}$$

trong đó: Q_g - lưu lượng của giếng điều áp. Đại lượng ξ_{gb} có thể không phải là hằng số khi v_g đổi chiều. Trên cơ sở (14-104b) có thể viết:

$$h_đ = h'_đ + h_{gb} \qquad (14\text{-}104c)$$

trong đó: $h'_đ$ - thỏa mãn với điều kiện $v_g = 0$ và tương ứng với các điều kiện của chế độ ổn định là:

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$h'_d = C'_d \mid v \mid v \qquad (14\text{-}104d)$$

trong đó: $$C'_d = \frac{1}{2g}\xi_{dc} = \sum \frac{L_d}{C^2 R} + \frac{1}{2g} \qquad (14\text{-}104e)$$

h_{gb} theo (14-104b) được biểu diễn qua v_g. Tuy nhiên để tiện lợi hơn cho tính toán và vẽ nên dùng vận tốc (lưu lượng) của đường dẫn Q_d và ống dẫn Q_T. Bây giờ

$$v_g = \frac{Q_d - Q_T}{F_d} = v - v_T$$

Khi đó ta có: $$h_{gh} = C_{gh} + \mid v - v_T \mid (v - v_T) \qquad (14\text{-}104g)$$

trong đó: $$C_{gh} = \frac{\xi_{gh}}{2g} \qquad (14\text{-}104h)$$

Khi chọn các số liệu ban đầu để tính toán cần xét đến các điểm sau:

1. Để xác định mức nước dâng lớn nhất trong giếng và tính toán ổn định của hệ thống, thì trường hợp bất lợi là khi tổn thất cột nước trong đường dẫn có trị số nhỏ nhất; còn để tính toán độ hạ thấp lớn nhất của mực nước trong giếng, trường hợp bất lợi là khi tổn thất cột nước trong đường dẫn có trị số lớn nhất. Vì vậy, do không thể biết trước một cách chính xác hệ số nhám của đường ống dẫn và sự thay đổi của chúng theo thời gian, nên trong tính toán phải lấy các giá trị giới hạn xác suất của chúng.

2. Đóng các tuabin khi có sự cố (khi các tuabin này lấy nước từ giếng điều áp) là điều kiện thủy năng để xác định mức nước dâng lớn nhất trong giếng, vì nó tương ứng với sự thay đổi đột ngột lưu lượng Q_T từ trị số lớn nhất đến trị số bằng không. Tính toán được tiến hành với mực nước lớn nhất ở thượng lưu. Nếu có vài tuabin nối vào một giếng thì trong tính toán giảm phụ tải, có thể xem là một số tuabin mới đóng lại đến mức chạy không tải. Trong trường hợp này lưu lượng cuối cùng sẽ lớn hơn 0.

3. Việc mở toàn bộ công suất, tức là tăng từ lưu lượng tuabin chạy không tải Q_{kt} đến Q_{max}, chính là điều kiện bất lợi nhất dùng để xác định mực nước thấp nhất trong giếng. Tuy nhiên, vì trong điều kiện vận hành việc nâng công suất như vậy ít khi xảy ra, nên đôi khi người ta tính giếng với trị số tăng phụ tải nhỏ hơn (thí dụ, từ 50% công suất đến 100%). Khi tính toán mực nước thấp nhất trong giếng, lấy trường hợp mực nước ở thượng lưu thấp nhất.

Trong thực tế tính toán người ta dùng phương pháp giải tích và đồ thị để giải các phương trình (14-102) và (14-103), cũng có khi dùng các MT số và tương tự. Phương

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

pháp thứ nhất rất tiện lợi trong việc tính toán sơ bộ; phương pháp thứ hai cho phép ta giải bài toán với nhiều yếu tố tác động hơn, còn dùng các MT số và tương tự cho phép ta tìm được lời giải gần với điều kiện thực tế nhất của hệ thống và cho ta khả năng tiến hành phân tích nhanh các thông số trong phạm vi thay đổi lớn.

14.14. XÁC ĐỊNH DIỆN TÍCH NHỎ NHẤT CỦA GIẾNG

Các công thức giải tích để xác định trị số diện tích mặt cắt F_{pg} nhỏ nhất (phân giới) của giếng sao cho thỏa mãn điều kiện làm việc ổn định của TTĐ, được rút ra từ những điều kiện sau đây:

a) Các máy điều tốc tự động của tuabin có chế độ làm việc lí tưởng và bảo đảm giữ chính xác được công suất tuabin ở mức cố định ban đầu.

b) Biên độ dao động nhỏ.

c) TTĐ làm việc trong mạng lưới độc lập hoặc gánh vác tần số mạng lưới, tức là nhận tất cả sự thay đổi phụ tải.

Đại lượng diện tích phân giới của giếng sẽ bằng:

$$F_{pg} = \frac{L_d F_d (1 + k_{hs})}{2gk\left(H_o - 2h_T + 2\frac{v^2}{g}\right)} \qquad (14\text{-}105)$$

Đại lượng k được xác định từ hệ thức sau đây:

$$k = \frac{h'_d}{v^2} \qquad (14\text{-}106)$$

trong công thức (14-105) và (14-106):

h'_d - độ chênh mực nước thượng lưu và trong giếng điều áp (m) ở trạng thái ổn định và được xác định theo các công thức (14-104d) và (14-104e);

v - vận tốc tại chỗ nối giếng với đường dẫn;

H_o - cột nước netta của tuabin trong trạng thái ổn định;

h_T - tổn thất cột nước trong ống dẫn vào tuabin;

$$k_{hs} = \partial\left(\frac{\eta}{\eta_o}\right) \Big/ \partial\left(\frac{H}{H_o}\right)$$

có xét đến sự thay đổi hiệu suất của tuabin η khi cột nước H thay đổi và được xác định theo đặc tính trong các điều kiện N = const. Tùy thuộc vào trạng thái có thể $k_{hs} > 1$ hoặc $k_{hs} < 1$.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Thông thường trị số F_{pg} lớn nhất tìm được ở trạng thái ứng với giá trị cột nước nhỏ nhất. Đối với giếng vi sai diện tích F_g lấy bằng diện tích giếng ngoài. Diện tích mặt cắt giếng F_g nên lấy lớn hơn diện tích phân giới khoảng 10 - 15%. Điều đó bảo đảm cho vận tốc tắt dần của dao động có giá trị đạt yêu cầu.

14.15. TÍNH GIẢI TÍCH DAO ĐỘNG CỦA MỰC NƯỚC TRONG CÁC GIẾNG ĐIỀU ÁP

a) Giếng điều áp hình trụ (hình 14.26a, b)

Nếu giả thiết rằng $h_d = 0$, tức là nếu không xét đến tổn thất thủy lực trong hệ thống đường dẫn - giếng điều áp, thì các phương trình (14-102) và (14-103) sẽ cho lời giải chính xác. Mặc dù lời giải này không hoàn toàn phù hợp với các điều kiện làm việc thực tế của giếng, nhưng nó được dùng để tính toán sơ bộ và để xác định thời gian một chu kì dao động trong giếng.

Nếu không xét đến tổn thất do ma sát, thì dao động trong giếng là không tắt dần, trong đó biên độ dao động được biểu diễn bằng công thức sau đây:

$$z_{max} = \frac{Q_{dc} - Q_{dbd}}{F_d}\sqrt{\frac{L_d F_d}{g F_g}} \qquad (14\text{-}107)$$

trong đó: Q_{dbd} và Q_{dc} - lưu lượng ban đầu và cuối cùng của đường dẫn.

Chu kì dao động trong giếng trụ trong trường hợp không có ma sát được xác định từ phương trình:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L_d F_d}{g F_g}} \qquad (14\text{-}108)$$

Thời gian cần để giếng có mực nước cao nhất hay thấp nhất là T/4.

Đối với giếng hình trụ, có thể tìm được lời giải giải tích cho các phương trình (14-102) và (14-103) cho trường hợp tuabin tức thời bị đóng hoàn toàn có xét đến tổn thất do ma sát. Khi đó, mực nước dâng cao nhất trong giếng ứng với lúc đóng hoàn toàn tuabin ($Q_{dc} = 0$) có thể xác định từ biểu thức sau:

$$\frac{h_d}{\lambda} = \frac{z_{max}}{\lambda} - \ln\left(1 + \frac{z_{max}}{\lambda}\right) \qquad (14\text{-}109)$$

trong đó: z_{max} - đại lượng cần tìm được tính bằng phương pháp thử dần phương trình (14-109) hoặc bằng đồ thị (hình 14.27, đường cong 1). Ở đây cần chú ý là nếu mực nước trong giếng dâng lên cao hơn mực nước thượng lưu (điều đó luôn luôn xảy ra khi cắt hoàn toàn phụ tải), thì z_{max} cần phải lấy với dấu trừ; h_d - độ chênh giữa mực nước thượng lưu và trong giếng điều áp khi lưu lượng ban đầu

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Q_{dbd} được xác định theo công thức (14-104d). Trên hình 14.27 cho các giá trị tuyệt đối $\left|\frac{z}{\lambda}\right|$, trong đó:

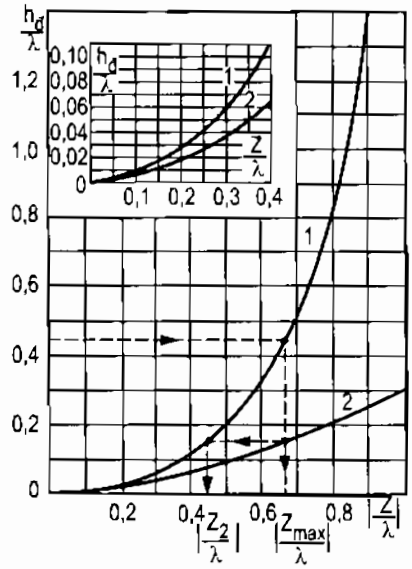
$$\lambda = \frac{L_d F_d}{2kgF_g}$$

(các kí hiệu vẫn như trong mục trước).

Mực nước hạ thấp nhất z_2 tương ứng với trường hợp cắt hoàn toàn phụ tải (nửa sóng thứ hai) có thể xác định được từ hệ thức sau đây:

$$\frac{z_{max}}{\lambda} + \ln\left(1 - \frac{z_{max}}{\lambda}\right) = \frac{z_2}{\lambda} + \ln\left(1 - \frac{z_2}{\lambda}\right) \qquad (14\text{-}110)$$

Khi đã xác định z_{max} theo (14-110) ta tìm được z_2. Để giảm nhẹ tính toán, có thể xác định z_2 theo đồ thị bằng các đường cong I và II như đã chỉ trên hình 14.27.



Hình 14.27: *Đồ thị để xác định dao động của mực nước trong giếng hình trụ khi tuabin bị đóng hoàn toàn ($Q_c = 0$)*

Độ giảm mực nước lớn nhất ở trong giếng khi tăng tải đột ngột (tăng lưu lượng từ Q_{dbd} đến Q_{max}) được xác định theo công thức gần đúng sau đây:

$$\frac{z_{max}}{h_{dmax}} = 1 + \left(\sqrt{\varepsilon - 0,275\sqrt{m}} + \frac{0,05}{\varepsilon} - 0,9\right)(1-m)\left(1 - \frac{m}{\varepsilon^{0,62}}\right) \qquad (14\text{-}111)$$

trong đó:

h_{dmax} - độ chênh giữa mực nước thượng lưu và mực nước trong giếng ứng với lưu lượng lớn nhất trong đường dẫn;

$$m = \frac{Q_{dbd}}{Q_{max}}$$

Giá trị Q_{dbd} bé nhất có thể xảy ra là lưu lượng khi tuabin chạy không có tải;

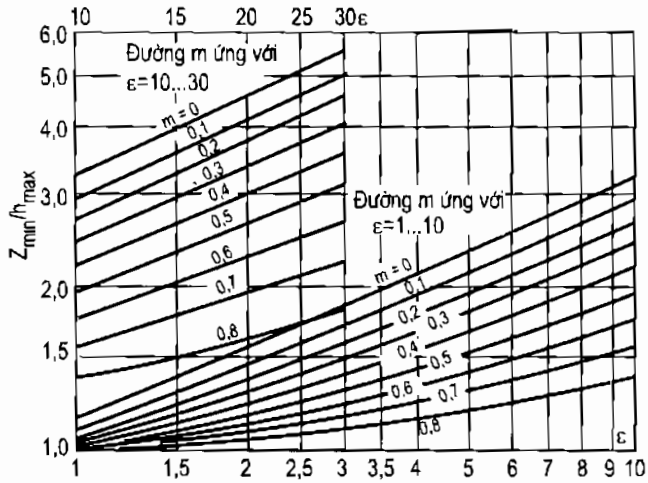
$$\varepsilon = \frac{L_d F_d v_{max}^2}{gF_g h_{max}^2} \qquad (14\text{-}112)$$

v_{max} và h_{dmax} trong (14-112) phải tương ứng với lưu lượng Q_{max}.

Có thể tìm lời giải của phương trình (14-111) bằng các đường cong trên hình 14.28.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 14.28: Đồ thị để xác định độ giảm mực nước trong giếng hình trụ khi mở tuabin

b) Giếng hai buồng và giếng có tường tràn (hình 14.26d, e)

Độ dâng mực nước lớn nhất trong giếng trong trường hợp tháo tải bằng:

$$| z_{max} | = | z_{tr} | + h_{tr} \qquad (14\text{-}113)$$

trong đó: z_{tr} - chiều cao của đỉnh tràn so với mực nước thượng lưu;

h_{tr} - bề dầy cực đại của lớp nước tràn qua đỉnh.

Người ta tính toán đập tràn theo lưu lượng lớn nhất $Q_{tr} \approx Q_{max}$.

Trong trường hợp giếng có buồng trên (hình 14.26e), thì thể tích của buồng trên (W_{tr}) phải tương ứng với thể tích toàn phần của khối nước tràn qua đập. Sau khi cho trước độ dâng lớn nhất của mực nước trong giếng z_{max} (hình 14.26c), ta có thể xác định được thể tích cần thiết của buồng trên (phải nằm dưới mực z_{max}) tương ứng với trường hợp tháo tải hoàn toàn:

$$W_{btr} = \frac{L_đ F_đ v_{max}^2}{2g h_{đmax}} \ln\left(1 - \frac{1}{x_{max}}\right) \qquad (14\text{-}114)$$

trong đó: x_{max} - độ dâng mực nước tương đối ở trong bể:

$$x_{max} = \frac{z_{max}}{h_{đmax}} \qquad (14\text{-}115)$$

Đối với trường hợp tháo tải, x_{max} là số âm; v_{max}, $h_{đmax}$ - các đại lượng tương ứng với lưu lượng lớn nhất Q_{max} chảy qua đường dẫn.

Để tính toán buồng dưới, trước hết ta phải chỉ định mực nước tối thiểu z_{min} trong bể. Đáy buồng phải đặt hơi thấp hơn một ít để duy trì được một lượng nước dự trữ ở

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

bên trong. Thể tích cần thiết của buồng dưới W_{bd} tương ứng với trường hợp tăng tải đột ngột được xác định theo công thức:

$$W_{bd} = \frac{L_d F_d v_c^2}{2gh_{dc}} \frac{1}{2} \ln \left[\frac{\sqrt{x_{min} - 1}}{\sqrt{x_{min} - m^2}} \times \left(\frac{\sqrt{x_{min} + 1}}{\sqrt{x_{min} - 1}} \cdot \frac{\sqrt{x_{min} - m}}{\sqrt{x_{min} + m}} \right)^{\frac{1}{\sqrt{x_{min}}}} \right] \qquad (14\text{-}116)$$

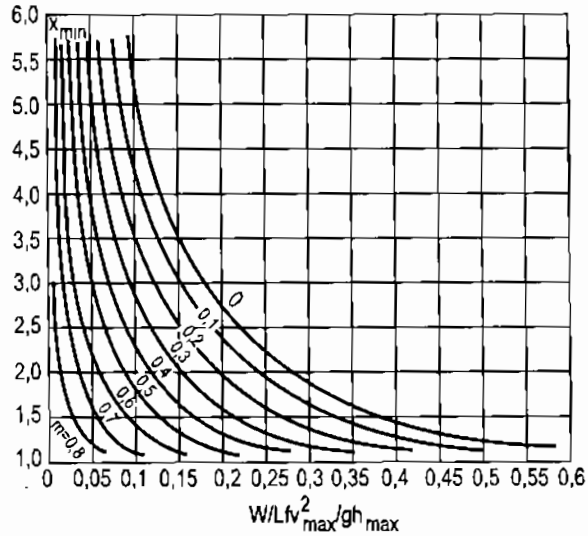
trong đó:

x_{min} - độ hạ mực nước tương đối trong giếng;

$$x_{min} = \frac{z_{min}}{h_{dc}}.$$

m - tỉ số Q_{dbd}/Q_{dc} của lưu lượng ban đầu và lưu lượng cuối của đường dẫn;

h_{dc} - độ chênh mực nước ở trong giếng và ở thượng lưu khi có lưu lượng Q_{dc} đi qua đường dẫn.



Hình 14.29: *Đồ thị để xác định thể tích buồng dưới của giếng điều áp*

Toàn bộ thể tích của buồng dưới W_{bd} phải nằm cao hơn mực z_{min} và thấp hơn mực nước thấp nhất của giếng tương ứng với lưu lượng Q_{max}. Để giảm nhẹ tính toán theo công thức (14-116), trên hình 14.29 đã cho các đồ thị biểu diễn đại lượng: $\dfrac{W_{bd}}{\left(\dfrac{L_d F_d v^2_{max}}{gh_{dmax}}\right)}$

như hàm của x_{min} và m.

c) Giếng vi sai (hình 14.26g)

Khả năng tháo của các lỗ phía dưới của cột ống tràn có ảnh hưởng đáng kể tới sự làm việc của các giếng điều áp vi sai. Tổn thất cột nước h_l ở các lỗ biểu diễn qua đại lượng tương đối δ bằng:

$$\delta = \frac{h_{l\,max}}{h_{dmax}} = \frac{Q^2_{max}}{2gF_l^2 \mu^2 h_{dmax}} \qquad (14\text{-}117)$$

trong đó: F_l - diện tích của các lỗ (m^2);

μ - hệ số lưu lượng của các lỗ (trong các tính toán sơ bộ có thể lấy $\mu = 0,6 \div 0,8$).

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Vì trong trường hợp tháo tải và tăng tải, hệ số lưu lượng μ lấy các giá trị khác nhau (khi tháo tải - lớn hơn) nên μ trong các phép tính này cũng khác nhau (do đó ta có tương ứng δ' và δ").

Khả năng tháo nước của các lỗ được xác định theo điều kiện tăng tải. Tổn thất tương đối ứng với trường hợp này được xác định theo công thức:

$$\delta'' = \frac{x_{min} - m^2}{(1-m)^2} \qquad (14\text{-}118)$$

trong đó: $x_{min} = z_{min}/h_{max}$ - đại lượng được xác định sau khi đã cho z_{min} (độ giảm mực nước lớn nhất trong cột ống tràn ứng với mực nước nhỏ nhất ở thượng lưu), $m = Q_{dbd}/Q_{max}$. Sau khi xác định δ", ta tìm được δ' theo hệ thức $\delta/\delta'' = \mu_2^2/\mu_1^2$ là hệ thức thu được từ (14-117) ứng với trường hợp tháo tải. Sau đó ta định ra một mực nước dâng lớn nhất của nước ở trong giếng so với mực nước thượng lưu z_{max} hay $x_{max} = z_{max}/h_{dmax}$ (có tính đến quy tắc về dấu của z). Đỉnh của cột ống tràn phải nằm thấp hơn cao độ z_{max} một đại lượng h_{tr}. Độ sâu h_{tr} trên tường tràn vòng tròn (cột ống) được xác định tương ứng với lưu lượng tràn lớn nhất Q_{tr}:

$$Q_{tr} = Q_{max}\left(1 - \sqrt{\frac{1-x_{max}}{\delta'}}\right) \qquad (14\text{-}119)$$

Có thể chỉ định kích thước của cột ống tràn sao cho diện tích mặt cắt của nó bằng hay lớn hơn diện tích mặt cắt của các đường dẫn nước ra khỏi giếng một đại lượng bằng 20 - 25%. Khi đã biết đường kính của cột ống tràn, ta có thể xác định h_{tr} tương ứng với môđun lưu lượng của tường tràn bằng 1,75 - 1,85 $m^{0,5}/s$. Có thể xảy ra là $1 - x_{max} \geq \delta'$. Trong trường hợp đó công thức (14-119) sẽ trở thành vô nghĩa, tức là nước sẽ không tràn qua thành trên của cột ống tràn, toàn bộ khối nước chảy vào giếng ngoài đều qua các lỗ ở phía dưới của cột ống tràn.

Khi tháo tải, nước sẽ chảy vào giếng ngoài qua các lỗ bên dưới và qua thành trên của cột ống tràn. Thể tích lớn nhất W của khối nước chảy vào giếng được xác định theo công thức:

$$W = \frac{L_d F_d v_{max}^2}{2g h_{dmax}} \times \frac{\ln\left[1 + \dfrac{1}{-x_{max} - 0,15(x_{tr} - x_{max})}\right]}{1 - \dfrac{0,3 - x_{max}}{0,3 - 2x_{max}} \cdot \dfrac{1}{1 - \dfrac{2}{3}\sqrt{\dfrac{1-x_{max}}{\delta'}}} \cdot \dfrac{F_{cột}}{F_{cột} + F_g}} \qquad (14\text{-}120)$$

trong đó: $x_{tr} = \dfrac{z_{tr}}{h_{dmax}}$

z_{tr} - độ chênh giữa thành trên của cột ống tràn và mực nước thủy tĩnh, nó có dấu âm;

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$|z_{tr}| = |z_{max}| - h_{tr}$;

F_g - diện tích của giếng ngoài (không kể cột ống tràn);

$F_{cột}$ - diện tích của cột ống tràn.

Toàn bộ khối nước W tính theo (14-120) phải được chứa vào trong giếng ngoài ở giữa các mực nước tương ứng với mực nước ban đầu h_{dmax} và mực nước lớn nhất z_{max}. Tương ứng, ta có thể xác định được đường kính của giếng ngoài. Ở đây cần chú ý là kích thước của giếng ngoài phải thỏa mãn điều kiện ổn định (14-105) của cả tổ máy.

Vì khi xác định δ'' theo (14-105) ta đã chỉ định độ hạ thấp của mực nước trong cột ống tràn lúc tăng tải. Do đó ta nên chọn kích thước của giếng sao cho trong giếng ngoài cũng có độ giảm mực nước bằng như thế. Muốn vậy, giữa các kích thước của cột ống tràn và của giếng ngoài phải thỏa mãn hệ thức sau:

$$x_{min} = 1 + \left[\sqrt{0,5\varepsilon_1 + 0,275\sqrt{m}} + \frac{0,1}{\varepsilon_1} - 0,9\right](1-m)\left(1 - \frac{m}{0,65\varepsilon_1^{0,62}}\right) \qquad (14\text{-}121)$$

trong đó:

$$\varepsilon_1 = \frac{\dfrac{L_d F_d v_{max}^2}{g(F_g + F_{cột})h_{d\,max}^2}}{1 - \dfrac{F_{cột}}{2\left[1 - \dfrac{2}{3}(1-m)\right](F_{cột} + F_g)}} \qquad (14\text{-}122)$$

Có x_{min} và kích thước $F_{cột}$ ta có thể xác định F_g theo (14-121) và (14-122). Nếu ta lấy kích thước giếng lớn hơn số thu được theo (14-121) và (14-122), thì độ hạ thấp của mực nước ở trong giếng khi gia tải sẽ thấp hơn mực nước ở trong cột ống tràn.

d) Giếng có sức cản phụ (hình 14.26h)

Để làm giảm biên độ dao động của mực nước trong bể khi tháo và tăng tải (z_{max} và z_{min}) đôi khi người ta còn dùng các sức cản phụ dưới dạng các mành chắn hoặc giảm mặt cắt (đường kính) của đoạn ống nối giữa giếng với đường dẫn nước. Nhưng dùng sức cản phụ ở ống nối sẽ làm tăng áp suất ở trong đường dẫn có áp khi chế độ chảy là không ổn định. Do đó cần phải đặt cơ sở cho việc lựa chọn và xác định độ lớn của sức cản phụ. Tổn thất thủy lực ở nút cản về cơ bản gồm tổn thất chảy vòng, tổn thất nén luồng và tổn thất do mở rộng đột ngột luồng chảy và khi chảy vào giếng.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Đối với giếng có sức cản, h_d trong phương trình (14-102) được xác định theo biểu thức (14-104b), trong đó hệ số sức cản phụ ở chỗ nối giếng với đường dẫn là đại lượng phụ thuộc vào kết cấu và kích thước chỗ nối.

Độ dâng lớn nhất của mực nước trong giếng có sức cản phụ trong trường hợp tháo tải hoàn toàn ($Q_{dbd} = Q_{max}$, $Q_{dc} = 0$) được xác định theo công thức

$$\frac{x_{max}}{1+\eta} = \frac{\varepsilon}{2} \cdot \frac{1}{(1+\eta)^2}\left[1 - \frac{\varepsilon}{2(1+\eta)^2} - \frac{1}{1+\eta}\right] e^{\frac{2(1+\eta)}{\varepsilon}(x_{max}+1)} \qquad (14\text{-}123)$$

trong đó:

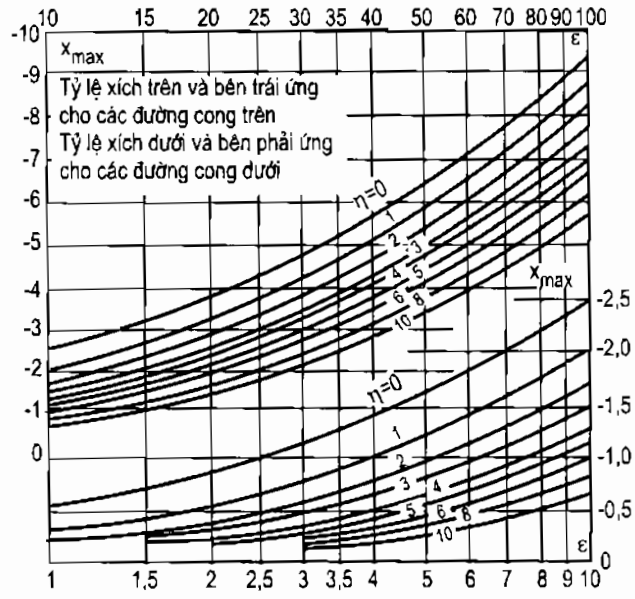
$$x_{max} = \frac{z_{max}}{h_{d\,max}} \qquad (14\text{-}124)$$

h_{dmax} - xác định theo các điều kiện ban đầu, tức là khi $v_g = 0$;

đại lượng: $\eta = \frac{h_{g\ cản\ max}}{h_{dmax}}$ $h_{g\ cản\ max}$ - tổn thất cột nước phụ ở nút cản khi có lưu lượng Q_{max} đi qua;

ε - xác định theo (14-112).

Chỉ có thể giải phương trình (14-123) đối với x_{max} bằng phương pháp thử dần. Để giảm nhẹ tính toán, trên hình 14.30 đã cho các đồ thị cho phép xác định ngay được x_{max} theo ξ và η (theo 14-123). Đường $\eta = 0$ trên hình 14.30 tương ứng với giếng trụ đơn giản. Cần chú ý rằng trong trường hợp này đã tính đến cả sự thay đổi đột ngột của lưu lượng đường ống. Một trong những đặc điểm của các giếng có sức cản phụ là độ dâng lớn nhất của mực nước không xảy ra lúc đột ngột đóng tuabin, tức là phải tính đến thời gian đóng tuabin mà ta có thể tiến hành được như bằng cách sử dụng các phương pháp đồ thị.

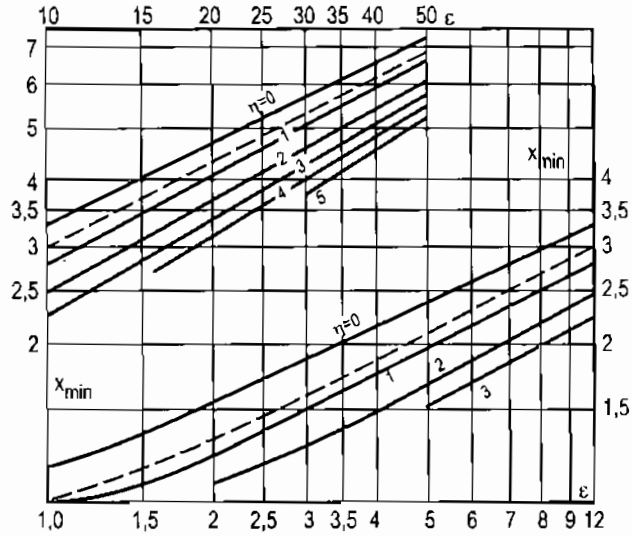


Hình 14.30: *Đồ thị để xác định độ dâng của mực nước ở trong giếng có sức cản phụ khi đóng tuabin*

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Cũng cần chú ý rằng, các thí nghiệm trên mô hình và trong thực tế đã cho biết, độ dâng thực của mực nước khi tháo tải sẽ thấp hơn con số xác định theo công thức (14-123) hoặc theo đồ thị (mục 14.16) vì ta còn chưa tính đến quán tính của nước trong giếng điều áp.



Hình 14.31: *Đồ thị để xác định độ hạ thấp mực nước ở trong giếng có sức cản phụ khi mở tuabin*

Có thể xác định bằng đồ thị trên hình 14.31 độ hạ thấp tối đa của mực nước trong giếng có sức cản trong trường hợp gia tải toàn bộ công suất.

14.16. TÍNH TOÁN BẰNG ĐỒ THỊ DAO ĐỘNG CỦA MỰC NƯỚC TRONG GIẾNG ĐIỀU ÁP

Các phương pháp tính toán dao động bằng đồ thị và bằng số thường dựa trên các phương trình (14-102) và (14-103) viết dưới dạng sai phân hữu hạn:

$$\Delta v = \frac{g}{L_d}(z - h_d)\Delta t \qquad (14\text{-}125)$$

$$\Delta z = \frac{1}{F_g}(Q_T - vF_d)\Delta t \qquad (14\text{-}126)$$

Độ chính xác của nghiệm phụ thuộc một cách đáng kể vào độ dài của khoảng thời gian tính toán Δt. Khi xác định Δt, ta chú ý sao cho số điểm để xây dựng đường cong mực nước trong giếng kể từ độ chênh ban đầu đến độ chênh lớn nhất không được ít hơn 8 - 10 điểm. Đối với giếng hình trụ có thể lấy sơ bộ $\Delta t = T/25 \div T/30$, trong đó T xác định theo (14.108).

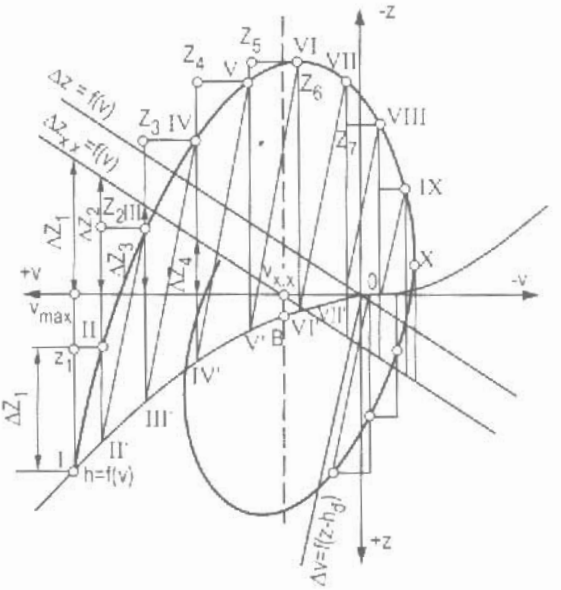
Khi tính toán bằng đồ thị phải cho trước tất cả các kích thước của giếng. Có thể tính toán trước các đại lượng này bằng giải tích. Dưới đây sẽ trình bày cách xây dựng các đồ thị cho trường hợp giếng trụ. Đối với các dạng giếng khác - chỉ giới thiệu những đặc điểm trong cách xây dựng.

Giếng trụ (hình 14.26a và b). Để xác định độ dâng lớn nhất của mực nước trong giếng, người ta tính toán cho trường hợp đóng đột ngột và hoàn tất cả các tuabin lấy

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

nước từ giếng đang xét và với mực nước thượng lưu cao nhất. Trường hợp này ứng với sự thay đổi đột ngột của lưu lượng ở mặt cắt đầu của ống dẫn vào tuabin (mặt cắt C - C trên hình 14.25) giảm từ giá trị lớn nhất đến giá trị bằng không. Để xây dựng, ta dùng hệ tọa độ sau: lấy trục hoành làm trục vận tốc ở đường dẫn, trục tung - khoảng cách đo bằng mét kể từ mực nước tĩnh ở thượng lưu. Ở đây cần tuân theo nghiêm túc quy tắc về dấu. Vận tốc có dấu dương nếu dòng chảy chảy từ thượng lưu vào giếng, khoảng cách đo từ mực nước tĩnh sẽ có dấu dương nếu nó nằm ở bên dưới mực nước đó (hình 14.25 và 14.32).



Hình 14.32: *Xây dựng đồ thị dao động mực nước trong giếng trụ khi đóng tuabin...*

Tỉ lệ xích của v và z lấy theo kích thước của hình vẽ dựa trên độ dâng lớn nhất của mực nước trong giếng mà ta đã tính sơ bộ được bằng một trong các công thức đã giới thiệu ở trên. Trình tự xây dựng như sau:

1. Xây dựng đường cong h_d, mà vì $\xi_{g\ phụ} = 0$ (tức không có sức cản phụ), nên theo (14-104b) và (14-114c) ta có:

$$h_d = \left(\frac{\xi_{dc}}{2g} + \frac{L_d}{C^2 R} + \frac{1}{2g} \right) v.|v| \qquad (14\text{-}127)$$

trong đó: ξ_{dc} - hệ số tổn thất cục bộ tổng cộng trên đường dẫn;

C - hệ số Sêzi;

R - bán kính thủy lực của đường ống.

Đôi khi người ta tính tổn thất dọc đường theo các công thức chuyên dùng của các đường ống có áp.

Khi tính toán về thảo tải, cần sử dụng các giá trị bé nhất có thể có trong các điều kiện đang xét của các hệ số tổn thất ξ_{dc} và hệ số nhám n.

Kể từ đường mặt nước tĩnh, ta dựng các đoạn h_d tính theo (14-127) theo chiều dương của trục z (từ trên xuống dưới) nếu v dương, các đoạn này theo chiều âm của z nếu v âm (dòng nước chảy từ giếng vào bể chứa) (hình 14.32).

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

2. Thiết lập hệ thức phụ thuộc $\Delta v = f(z - h_d)$. Sau khi biết đại lượng Δt tính toán, ta chỉ định cho hiệu $(z - h_d)$ một giá trị bất kì rồi theo công thức (14-125) tính Δv. Đặt giá trị thu được dọc theo trục v (bắt đầu từ gốc tọa độ), còn theo trục z đặt đại lượng $(z - h_d)$.

3. Giả thử $Q_T = 0$, rồi thiết lập hệ thức $\Delta z = f(v)$ (theo (14-126)). Hệ thức thu được là đường thẳng đi qua gốc tọa độ và qua điểm tương ứng với vận tốc lớn nhất trong đường dẫn (hình 14.32).

Giả thử cần xây dựng đường dao động của mực nước trong giếng khi tháo đột ngột toàn bộ tải, tức là khi lưu lượng thay đổi từ Q_{max} đến Q_{kt} (chỉ số "kt" chỉ chế độ chạy không tải) hay từ vận tốc v_{max} đến v_{kt}. Muốn vậy, trên trục v ta ghi điểm v_{max} và điểm v_{kt}. Qua điểm v_{kt} ta dựng đường thẳng song song với trục z (đường đứt khúc AA trên hình 14.32) và đường thẳng song song với đường $\Delta z = f(v)$ gọi là đường $\Delta z_{kt} = f(v)$.

Mực nước trong giếng lúc đầu ở tại điểm I. Ở cuối khoảng thời gian Δt thứ nhất nó dâng được một độ cao bằng Δz_1 có giá trị tìm được trên đường Δz_{kt}. Từ điểm I ta dựng đoạn Δz_1 theo chiều từ dưới lên (điểm z_1), rồi qua I dựng đường thẳng song song với đường $\Delta v = f(z - h_d)$, ta tìm được điểm II tương ứng với mực nước và vận tốc trong ống ở cuối khoảng thời gian Δt thứ nhất.

Để tìm điểm tiếp theo, từ II ta dựng đường thẳng song song với trục z và tìm Δz_2 rồi đặt vào điểm II theo chiều từ dưới lên (điểm z_2). Đoạn II' - z_2 biểu diễn đại lượng $(z - h_d)$ ứng với khoảng thời gian thứ hai. Qua điểm II' ta dựng đường thẳng song song với đường $\Delta v = f(z - h_d)$, ta sẽ được điểm III. Tiếp tục lặp lại quá trình xây dựng, ta sẽ được các điểm IV, V... cho đến khi cắt đường AA. Vì ở bên phải đường AA, đại lượng Δz đổi dấu nên phải dựng theo chiều từ trên xuống dưới.

Kết quả là, sau khi xây dựng ta được đường tích phân $z = f(v)$ (theo các điểm I, II, III, ...) là đường xoắn ốc thu về điểm B tức là về mực nước tương ứng với chế độ ổn định ứng với lưu lượng Q_{kt}. Khi vẽ đường cong $z = f(v)$ ta cần chú ý rằng, các tiếp tuyến với đường tích phân ở tại tất cả các giao điểm của nó với đường thẳng AA đều phải song song với trục v, còn ở tại các giao điểm với đường $h_d = f(v)$, thì tiếp tuyến này song song với trục z. Nếu cần, có thể dễ dàng biến đường xoắn ốc $z = f(v)$ thành đường $z = f(t)$ vì các khoảng thời gian giữa hai điểm bất kì cạnh nhau trên hình vẽ đều như nhau và bằng Δt. Trong trường hợp nếu lưu lượng cuối sau khi tháo tải mà bằng không, thì đường AA trùng với trục z.

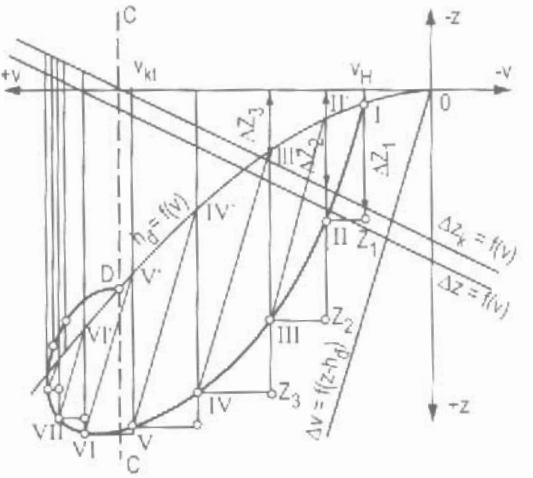
Đồ thị của trường hợp tăng (chất) tải cũng vẽ trong cùng các tọa độ như trường hợp tháo tải. Nhưng tính toán phải tiến hành với mực nước thượng lưu thấp nhất lấy trùng với trục v. Cũng bằng phương pháp đó ta vẽ đường $\Delta v = f(z - h_d)$. Đường $\Delta z = f(v)$ được vẽ theo công thức (14-126) cho $Q_T = Q_{Tc}$ (hình 14.33). Khi tính toán

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

cho trường hợp tăng tải, các hệ số tổn thất thủy lực ξ và hệ số nhám n phải lấy bằng các giá trị lớn nhất có thể có được trong các điều kiện đã cho.

Giả thử cần xây dựng chế độ trong giếng khi gia tải tương ứng với sự thay đổi đột ngột của lưu lượng từ $Q_T = Q_{tbd}$ đến $Q_T = Q_{dc} < Q_{max}$ hay từ $v = v_{bc}$ đến $v = v_c < v_{max}$. Muốn vậy qua điểm v_c trên trục hoành ta dựng đường thẳng CC song song với trục z (đường đứt quãng trên hình 14.33) và đường thẳng song song với đường $\Delta z = f(v)$ mà ta có thể gọi là đường $\Delta z_c = f(v)$.



Hình 14.33: *Xây dựng đường dao động mực nước trong giếng trụ khi mở tuabin*

Mực nước trong giếng ở thời điểm đầu tương ứng với điểm I. Đến cuối thời khoảng Δt thứ nhất, mực nước trong giếng đã hạ xuống một đại lượng bằng Δz_1 nằm giữa trục v và đường $\Delta z_c = f(v)$. Nếu từ điểm I dựng một đoạn thẳng Δz_1 theo chiều từ trên xuống thì ta được vị trí ứng với mực nước cần tìm (điểm z_1). Để tìm điểm II ứng với mực nước và vận tốc của đường dẫn ở cuối khoảng thời gian thứ nhất, qua điểm I ta dựng đường thẳng song song với đường $\Delta v = f(z - h_d)$ cho đến khi cắt đường nằm ngang đi qua điểm z_1. Qua điểm II ta dựng đường thẳng song song với trục z cho đến khi cắt trục v. Tìm Δz_2, rồi đặt nó vào điểm II theo chiều từ trên xuống ta sẽ được vị trí của mực nước trong giếng ở cuối thời khoảng Δt thứ hai (điểm z_2). Đoạn z_2 - II' xác định trị số của $(z - h_d)$ tương ứng với khoảng thời gian thứ hai. Qua điểm II' vẽ đường thẳng song song với đường $\Delta v = f(z - h_d)$, ta được điểm III. Cứ tiếp tục như vậy, ta được các điểm IV, V, v.v... Cần chú ý rằng sang bên trái đường CC, Δz sẽ đổi dấu, nên để tìm mực nước trong giếng phải đặt nó theo chiều từ dưới lên trên. Vẽ một đường cong liên tục qua các điểm I, II, III... ta sẽ được đường tích phân cần tìm $z = f(v)$ ứng với các điều kiện ban đầu đã cho. Hệ thức $z = f(v)$ được biểu diễn dưới dạng đường xoắn ốc xuất phát từ điểm I và hội tụ tại điểm D tương ứng với chế độ ổn định cuối cùng. Cần chú ý rằng, các tiếp tuyến của đường xoắn tròn ốc tại các giao điểm của nó với đường CC phải song song với trục v.

Giếng có nhiều buồng (hình 14.26c). Để tính toán bằng đồ thị cho giếng có nhiều buồng, ta cũng dùng hệ tọa độ và xây dựng các đường $h_d = f(v)$ và $\Delta v = f(z - h_d)$ như trong trường hợp giếng trụ.

https://tieulun.hopto.org

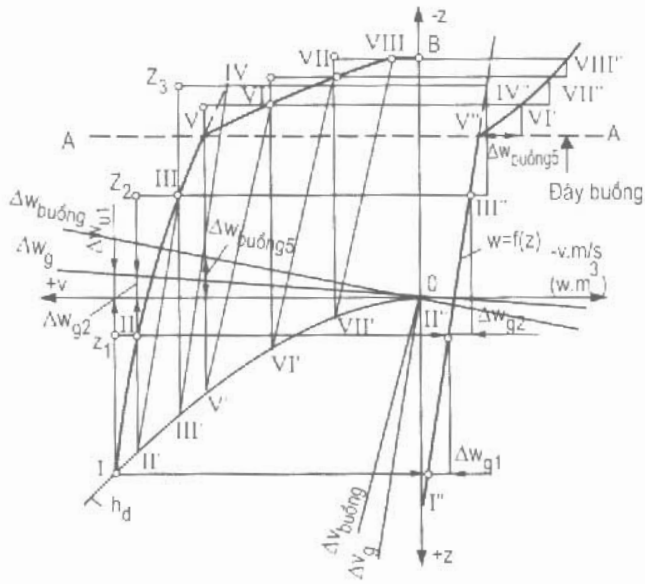
www.thuvien247.net

Khi tính cho trường hợp tháo tải, thay cho đường Δz nên dùng đường Δw biểu diễn thể tích của khối nước chảy vào giếng trong khoảng thời gian Δt được xem như hàm của vận tốc trong đường dẫn. Từ (14-126) ta được:

$$\Delta w = F_d(v_c - v)\Delta t \qquad (m^3) \qquad (14\text{-}128)$$

trong đó F_d - diện tích mặt cắt của đường dẫn.

Khi tính giếng có nhiều buồng ta cần sử dụng hai khoảng thời gian tính toán: khoảng ngắn hơn dùng cho giai đoạn khi mực nước còn nằm thấp hơn đáy buồng và khoảng dài hơn - cho giai đoạn nước chảy vào buồng. Tương ứng ta sẽ có các đường tính toán Δv_g và Δv_b và hai đường Δw_g và Δw_b cho giếng và cho buồng (hình 14.34). Bên phải của trục z ta vẽ đồ thị tăng của thể tích giếng theo cao độ w = f(z). Cần phải vẽ bắt đầu từ mực nước thấp hơn mực h_{dmax}. Khi xây dựng các đường Δw và các đồ thị thể tích tổng w, ta phải sử dụng cùng một tỉ lệ xích thể tích.



Hình 14.34: *Xây dựng đường dao động của mực nước trong giếng có buồng trên khi đóng tuabin*

Giả thử cần xây dựng cho trường hợp tăng mực nước trong giếng do lưu lượng trong ống dẫn giảm đột ngột từ Q_{max} xuống đến không, tức là tương ứng với $v_{bd} = v_{max}$ và $v_c = 0$ (hình 14.34). Lúc đầu mực nước trong giếng ở tại điểm I. Từ điểm I ta vẽ đường song song với trục z, ta được Δw_{g1} (lượng nước chảy vào giếng trong khoảng thời gian Δt đầu tiên) rồi đặt đại lượng này vào bên phải điểm I" là điểm được xây dựng bằng cách qua điểm I dựng đường thẳng song song với trục hoành cho đến khi gặp đường w = f(z). Từ cuối đoạn Δw_{g1} dựng đường thẳng đứng cho đến khi gặp đường w = f(z), ta được điểm II" mới tương ứng với độ dâng của mực nước trong khoảng thời gian đầu tiên. Từ II" dựng đường thẳng nằm ngang cho đến khi cắt đường thẳng đứng đã vẽ từ trước qua điểm I (giao điểm z_1). Từ điểm I vẽ đường thẳng song song với đường Δv_g ta sẽ được điểm II.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

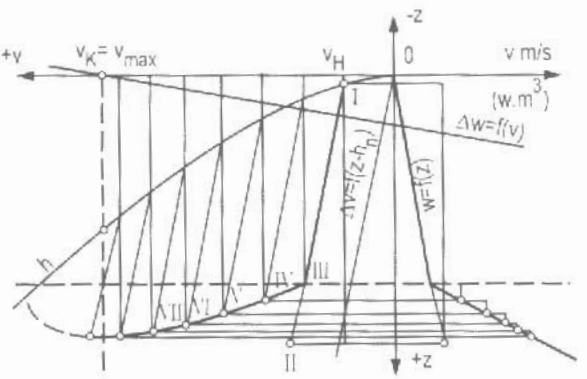
Trên đường thẳng đứng dựng từ II ta tìm được Δw_{g2}. Đem đặt nó vào bên phải điểm II". Trên đường ứng với mực nước z_2 ở cuối khoảng thời gian Δt thứ hai ta tìm được điểm III". Qua II" (trên đường h_d) dựng đường thẳng song song với đường Δv_g, ta được điểm III. Cứ tiếp tục xây dựng như vậy, ta sẽ tìm được các điểm tiếp theo cho đến khi đường cong nối chúng cắt đường AA (độ cao của đáy buồng). Ta ghi cho điểm V số thứ tự tiếp theo.

Cứ tiếp tục xây dựng theo trình tự đó, thì từ điểm V' và với các đường Δw_c và Δv_c ta xác định được vị trí của các điểm VI, VII, ... tiếp sau đó. Công việc thường kết thúc tại điểm B là lúc buồng chứa đầy nhất. Tuy nhiên, nếu muốn xét toàn bộ chế độ dao động, thì phải tiếp tục xây dựng cho đến khi đường cong tiến dần đến điểm tương ứng với chế độ ổn định cuối cùng (trong trường hợp này là điểm O). Khi xây dựng đồ thị cần chú ý rằng khi chuyển sang bên phải trục, đại lượng Δw đổi sang dấu trừ (nước chảy ra khỏi giếng trong khoảng thời gian Δt), nên phải dựng đoạn Δw ở phía bên trái đường cong $w = f(z)$.

Nếu lưu lượng cuối cùng khác không, thì chỉ cần mang song song các đường Δw_g và Δw_c tới điểm v_c trên trục hoành. Quá trình xây dựng vẫn như vậy.

Việc tính toán bằng đồ thị các dao động của mực nước trong giếng có buồng dưới trong trường hợp gia tải (mở tuabin) cũng không có gì khác so với trường hợp tháo tải.

Trên hình 14.35 đã trình bày cách xây dựng trong trường hợp tăng tải tương ứng với sự thay đổi vận tốc từ v_{bd} đến $v_c = v_{max}$. Khi vận tốc cuối cùng $v_c < v_{max}$, chỉ cần mang song song đường Δw đến điểm v_c trên trục hoành, trình tự xây dựng vẫn như vậy.



Hình 14.35: *Xây dựng đường dao động của mực nước trong giếng có buồng dưới khi mở tuabin*

Giếng có đập tràn (hình 14.26d, e). Khi tính cho trường hợp hạ tải ta vẫn dùng các hệ tọa độ và phương pháp xây dựng đường cong Δz, Δv và h_d như đối với giếng trụ. Đôi khi cũng nên sử dụng các khoảng thời gian tính toán khác nhau: khoảng ngắn hơn dùng cho giếng, khoảng dài hơn - cho giai đoạn nước tràn qua đập. Trong trường hợp đó phải xây dựng hai hệ các đường Δv và Δz.

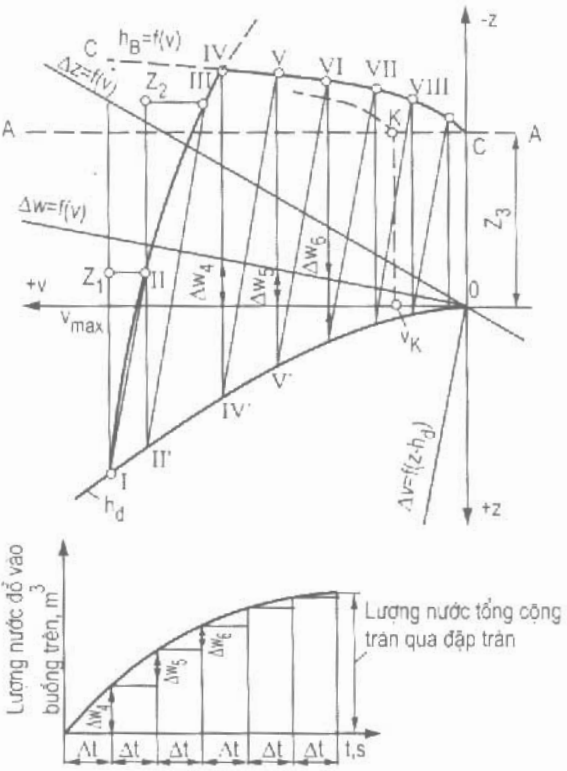
Trên trục z ta ghi cao độ của đỉnh đập tràn z_{tr} và qua điểm đó dựng đường nằm ngang AA (đường đứt nét trên hình 14.36).

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Ở bên trên đường AA ta dựng đường cong CC biểu diễn hàm $h_{tr} = f(v)$ trong đó h_{tr} - chiều cao trên đập tràn trong cùng tỉ lệ xích như của z. Tùy theo dạng đập tràn (đập vòng tròn hoặc thẳng) mà ta dùng các phương pháp xây dựng khác nhau.

Trên hình 14.36 trình bày cách xây dựng đồ thị dùng để xác định sự thay đổi của mực nước trong giếng có đập tràn trong trường hợp tháo tải hoàn toàn, tương ứng với sự thay đổi của vận tốc từ $v_{bd} = v_{max}$ xuống $v_c = 0$. Quá trình xây dựng bắt đầu từ điểm I y hệt như đối với giếng trụ và kết thúc khi đường cong vẽ qua các điểm I, II, III, ... cắt đường CC. Ghi số thứ tự tiếp theo vào điểm đó (trong trường hợp đang xét là IV), rồi dựng đường thẳng đứng cho đến khi cắt đường h_d. Từ điểm IV lại tiếp tục xây dựng như đã trình bày trên hình vẽ. Độ dâng lớn nhất của mực nước trong giếng là tại điểm IV; lưu lượng lớn nhất của đập tràn bằng



***Hình 14.36**: Xây dựng đường dao động của mực nước trong giếng có đường tràn khi đóng tuabin*

$$Q_{trmax} = v_{IV}F_d$$

Nếu nước chảy qua đập tràn được dẫn vào buồng, thì phải xây dựng thêm đường cong $\Delta w = f(v)$ theo (14-128) (phương pháp xây dựng đã trình bày trong phần tính toán bằng đồ thị các giếng có buồng chứa) và đồ thị $w = f(t)$, trong đó w - thể tích của khối nước chảy từ đập tràn vào buồng chứa trong thời gian t. Cách xây dựng đã chỉ rõ trên hình vẽ. Nếu vận tốc cuối cùng v_c khác không, thì chỉ cần vẽ đường z_{tr} bắt đầu từ điểm K (hình 14.36) là điểm ứng với vận tốc cuối cùng v_c rồi qua đó vẽ đường Δw; cách xây dựng vẫn như cũ.

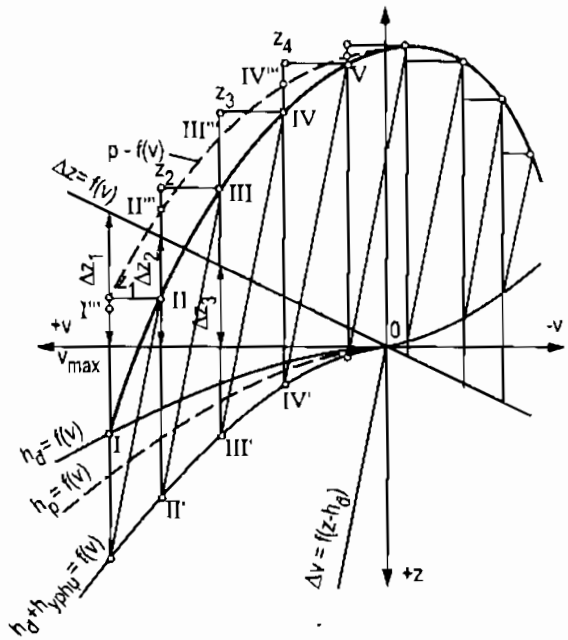
Khi tăng tải, giếng có đập tràn sẽ làm việc như giếng trụ hoặc như giếng có buồng chứa ở bên dưới.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Giếng có sức cản phụ (hình 14.26h). Trình tự và quy tắc xây dựng vẫn hoàn toàn như đối với giếng trụ. Chỉ có đường cong tổn thất là được xây dựng hơi khác đi. Phải xây dựng đường cong h_d (theo công thức (14-104đ) cho riêng các chế độ ổn định và đường cong sức cản phụ $h_{gphụ}$ ở chỗ nối theo (14-104g). Sau đó xác định đường cong tổng h_d theo công thức (14-104c).

Trên hình 14.37 trình bày cách xây dựng cho trường hợp tháo tải tương ứng với sự thay đổi vận tốc của đường ống từ $v_{bđ} = v_{max}$ đến $v_c = 0$. Mực nước ban đầu tại điểm I. Ta xác định vị trí II bằng cách vẽ qua I' một đường song song với đường thẳng $\Delta v = f(z - h_d)$ vì $(z - h_d)$ ứng với khoảng thời gian thứ nhất chính là đoạn $z_1 - I'$. Bằng cách đó ta cũng tìm được vị trí của các điểm tiếp theo. Khi $v_c > 0$, ta chỉ phải mang đường cong h_{gphu} sang bên trái và giữ nguyên các tung độ sao cho nó cắt trục hoành tại điểm v_c như (14-104g), quá trình xây dựng vẫn như cũ.



Hình 14.37: *Xây dựng đường dao động mực nước trong giếng có sức cản phụ khi đóng tuabin*

Để thiết kế đường dẫn nước rất cần phải biết độ tăng áp suất ở mặt cắt cuối trong trường hợp tháo tải.

Có thể vẽ đường cong thay đổi áp suất $p = f(v)$ ở mặt cắt cuối đường ống dẫn theo đường cong I, II, III... bằng cách dựng theo đường này những tung độ $h_{gphụ}$ (có dấu; các điểm I''', II''', III'''...). Nhưng cần chú ý rằng, trong giai đoạn đóng tuabin áp suất ở mặt cắt cuối đường dẫn có thể hơi lớn hơn các kết quả tính toán, vì còn có sự tham gia của sức cản và lực quán tính của nước trong giếng khi vận tốc tăng nhanh từ không đến giá trị cực đại.

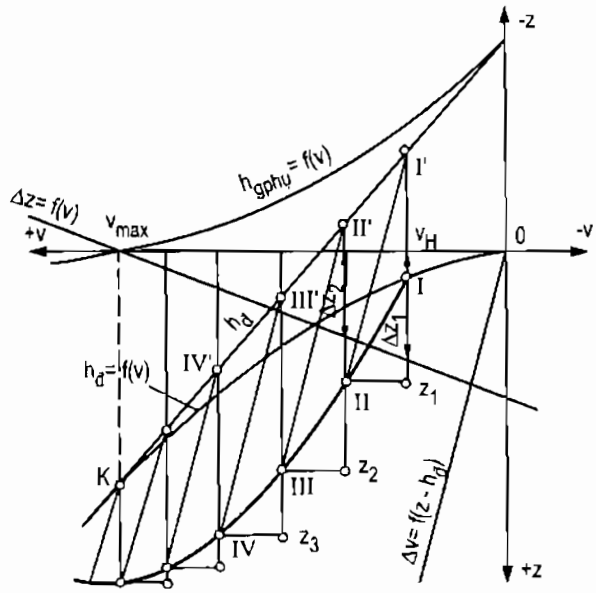
Để tính toán cho trường hợp tăng tải (khi mở tuabin), quá trình xây dựng cũng không khác nhiều so với trường hợp giếng trụ. Đường tổn thất cột nước có sức cản phụ $h_{gphụ}$ bây giờ xây dựng theo phương trình (14-104g) và sẽ cắt trục hoành tại điểm v_c. Xây dựng bắt đầu từ điểm I (mực nước ban đầu trong giếng (hình 14.38) nằm bên trên đường cong h'_d. Để tìm điểm II, từ điểm I ta vẽ đường thẳng đứng cho

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

đến lúc cắt đường cong h_d (điểm I'), từ I dựng đoạn Δz_1 theo chiều từ trên xuống dưới (điểm z_1), đoạn (z_1 - I') biểu diễn z - h_d ứng với khoảng thời gian thứ nhất. Từ điểm I' vẽ đường thẳng song song với đường Δv là đường trên đó có điểm II cần tìm. Cứ tiếp tục xây dựng như vậy ta sẽ tìm được những điểm tiếp theo. Khi dao động kết thúc, đường cong sẽ thu về điểm K tương ứng với mực nước v_c trong chế độ ổn định.

Giếng vi sai (hình 14-26h). Khi tính toán giếng vi sai trong trường hợp tháo tải, trong gần đúng thứ nhất ta có thể xem như giếng có đập tràn và giả thiết rằng toàn bộ khối nước sẽ chảy vào giếng ngoài qua miệng trên của cột ống tràn.



Hình 14.38: *Xây dựng đường dao động mực nước trong giếng có sức cản phụ khi đóng tuabin*

Khi cần có lời giải chính xác hơn về bài toán tháo tải, người ta xây dựng đồng thời các đường mực nước $z_{cột} = f(v)$ trong cột ống tràn và đường mực nước $v_g = f(v)$ ở trong giếng ngoài (hình 14.39). Muốn vậy, trong hệ tọa độ cơ bản (z, v) ta vẽ đường tổn thất cột nước h_d xác định theo công thức (14-127), ở bên phải trục z ta dựng các đồ thị thay đổi thể tích của cột ống tràn $w_{cột}$ và thể tích của giếng w_g. Sau đó chỉ định một khoảng thời gian tính toán Δt, vẽ đường thẳng $\Delta w = F_d(v_c - v)\Delta t$ (trong trường hợp này $v_c = 0$). Tỉ lệ xích cho Δw cũng lấy như trên các đồ thị $w_{cột}$ và w_g. Theo phương trình (14-125) ta vẽ đường thẳng $\Delta v = f(z - h_d)$, còn qua cao độ miệng trên của cột ống tràn ta vẽ đường đứt đoạn AA. Sau đó phải xây dựng thêm hai đường đồ thị bảo trợ:

1- Đồ thị đặc trưng của các lỗ (hình 14.39a)

$$\Delta w_g = \Delta t \omega . \mu . \sqrt{2g(z_{cột} - z_g)} \quad \text{và} \quad v_g = \frac{\omega \mu}{F_g}\sqrt{2g(z_{cột} - z_g)}$$

trong đó: ω - diện tích của lỗ (m^2);

$z_{cột}$ - mực nước trong cột ống tràn;

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

z_g - mực nước trong giếng ngoài;

μ - hệ số lưu lượng của các lỗ;

F_d - diện tích mặt cắt của đường dẫn (m^2).

2- Đường đặc trưng tràn của cột ống tràn:

$$h_{tr} = f(v_{cột})$$

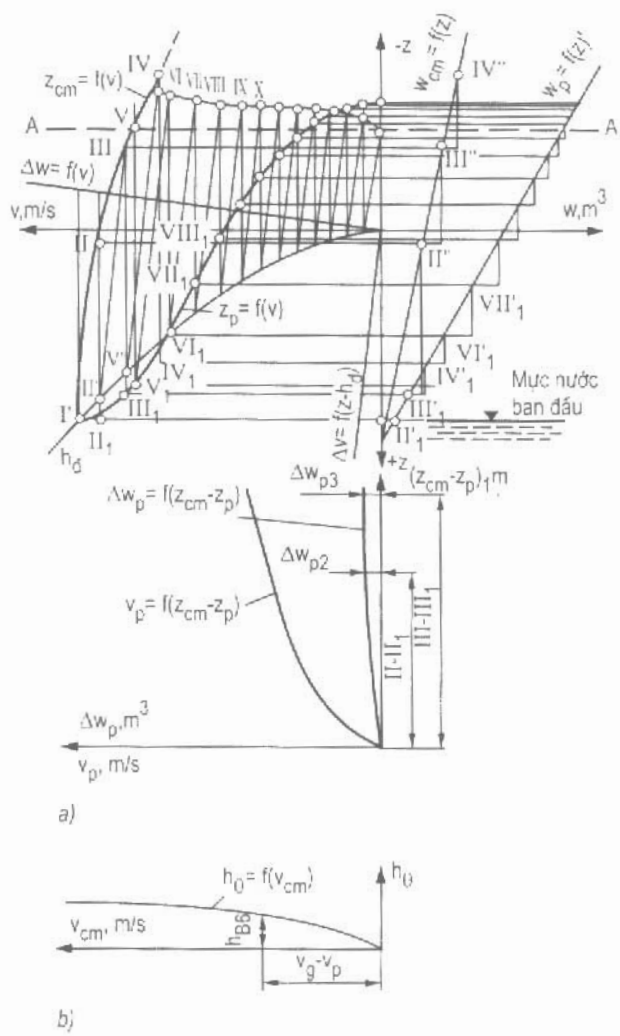
trong đó: h_{tr} - chiều cao trên đập tràn (hình 14.39b).

Khi xây dựng các đồ thị đồ (hình 14.39a, b) ta phải giữ nguyên các tỉ lệ xích như ở đồ thị cơ bản.

Cả quá trình xây dựng được phân làm hai giai đoạn: a) mực nước ở trong cột là $z_{cột}$ nằm thấp hơn đường AA, khi nước chỉ có thể chảy vào giếng ngoài qua các lỗ; b) mực nước trong cột ống tràn cao hơn đường AA, nước chảy vào giếng ngoài qua cả các lỗ và qua miệng trên của cột ống tràn.

Trên hình 14.39 trình bày cách xây dựng đồ thị để xác định sự thay đổi của mực nước trong giếng vi sai khi tháo tải, làm giảm lưu lượng và vận tốc từ $v_{bd} = v_{max}$ đến $v_c = 0$.

Giai đoạn thứ nhất. Xây dựng bắt đầu từ điểm I nằm trên đường h_d với giả thiết rằng trong khoảng thời gian Δt đầu tiên tất cả khối nước trong đường dẫn chỉ chảy vào cột ống tràn - ta sẽ tìm



Hình 14.39: *Xây dựng đường dao động của mực nước trong giếng vi sai khi đóng tuabin*

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

được vị trí của điểm II (xem trong phần giếng có nhiều buồng). Đoạn II - II_1 tương ứng với độ chênh giữa mực nước của cột và của giếng ngoài ($z_{cột}$ và z_g) trong suốt khoảng thời gian thứ hai. Theo đường cong bổ trợ v_g ta tìm Δw_{g2} là thể tích của khối nước chảy vào giếng trong khoảng thời gian thứ hai, theo Δw_{g2} và đường thẳng ta xác định được độ dâng cao của mực nước ở giếng ngoài cũng trong khoảng thời gian đó (điểm III_1). Khối nước chảy vào cột ống trong thời gian này xác định theo hiệu $\Delta w_2 - \Delta w_{g2}$; theo số liệu này trên đường $v_{cột}$ ta tìm được độ dâng cao của mực nước ở trong cột ống tràn (điểm III'"). Qua II" ta vẽ đường thẳng song song với đường Δv, rồi tìm vị trí của điểm III (cột ống tràn) và III_1 (giếng). Trình tự xây dựng các điểm tiếp sau trong giai đoạn thứ nhất vẫn như cũ (khi $z_{cột}$ còn nằm bên dưới đường AA).

Giai đoạn thứ hai. Ta đánh dấu giao điểm của đường cong $z_{cột} = f(v)$ được xây dựng theo các điểm I, II, III... với đường AA bằng các con số thứ tự tiếp theo (trong trường hợp này là V). Qua giao điểm đó vẽ đường thẳng đứng cho đến khi nó gặp đường h_d (điểm V'). Ta đánh dấu giao điểm của đường V - V' với đường mực nước trong giếng (II, III, IV) bằng điểm V_1. Lấy đoạn V - V_1 làm $z_{cột} - z_g$ cho khoảng thời gian tiếp theo. Theo đường cong bổ trợ $v_g = f(z_{cột} - z_g)$ ta xác định được v_g; còn theo đường cong bổ trợ $h_{tr} = f(v_{cột})$ theo hoành độ $v_{cột} = v_5 - v_g$ ta tìm được độ cao trên đỉnh h_{tr6} mà ta phải đặt lên trên AA (v_5 - vận tốc ứng với điểm V). Từ điểm V' ta vẽ đường thẳng song song $\Delta v = f(z - h_d)$ và theo h_{tr6} tìm vị trí điểm VI. Ta tìm độ dâng mực nước trong giếng ngoài trong khoảng thời gian đó bằng cách đặt tiếp đoạn Δw lên trên đường w_g, vì toàn bộ khối nước bây giờ chỉ chảy vào giếng ngoài. Sau khi tìm được vị trí của điểm VI, cũng bằng phương pháp đó ta tìm được các điểm tiếp sau cho đến khi đường $z_{cột} = f(v)$ đạt tới giá trị $v = v_c$, sau đó mực nước bắt đầu rút.

Theo cách xây dựng ta đã thấy được rõ ràng cách sử dụng thể tích của giếng ngoài. Có thể xảy ra là trong thời gian khi vận tốc của đường dẫn giảm xuống, thì giếng ngoài vẫn chưa kịp đầy hoặc ngược lại là mực nước trong giếng đã cao hơn cao độ của mép cột ống tràn và bắt đầu ngập đập tràn. Nếu đến cuối giai đoạn thứ hai mà độ ngập này cao hơn h_{trmax}, thì chứng tỏ là cột tràn quá ngắn hoặc thể tích của giếng ngoài quá nhỏ.

Để xây dựng được chính xác hơn, cần phải lấy khoảng thời gian tính toán Δt cho giai đoạn đầu ngắn hơn, còn cho giai đoạn thứ hai - dài hơn.

Với độ chính xác đủ dùng trong thực tế, cũng có thể tính toán giếng vi sai trong trường hợp tăng tải bằng phương pháp đã làm như đối với giếng có sức cản phụ (cho trường hợp tăng tải). Ở đây quan trọng là sao cho mực nước trong cột ống tràn không bị

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

hạ xuống quá thấp. Để kiểm tra, ta có thể xây dựng đường cong áp suất ở mặt cắt cuối đường dẫn. Muốn vậy bắt đầu từ đường z = f(v) ta dựng các tung độ của đường h_{gphu} = f(v) mô tả tổn thất cột nước ở các lỗ (đặt theo chiều từ trên xuống). Hệ số lưu lượng của lỗ trong trường hợp tăng tải, ở lần gần đúng thứ nhất có thể lấy bằng 0,6 ÷ 0,8.

14.17. TÍNH TOÁN DAO ĐỘNG CỦA MỰC NƯỚC TRONG GIẾNG ĐIỀU ÁP TRONG ĐIỀU KIỆN GIỮ NGUYÊN CÔNG SUẤT CỦA TỔ MÁY

Phương pháp đồ thị cho phép ta xác định được biên độ dao động và vận tốc giảm dần các kích động hữu hạn trong hệ đường dẫn - giếng điều áp ống dẫn vào tuabin - tuabin và bộ điều tốc. Ta nên tính toán cho các trường hợp khi diện tích của giếng gần bằng diện tích phân giới theo (14-105). Đặc điểm cơ bản của việc tính toán dao động có tính đến quá trình vận hành của các bộ điều tốc tự động là lưu lượng mà tuabin tiêu thụ sau khi giảm hoặc tăng một ít công suất đã không là đại lượng không đổi nữa. Chỉ có công suất N của tổ máy được giữ nguyên:

$$N = 9{,}81 Q_T H \eta \qquad (14\text{-}129)$$

trong đó:

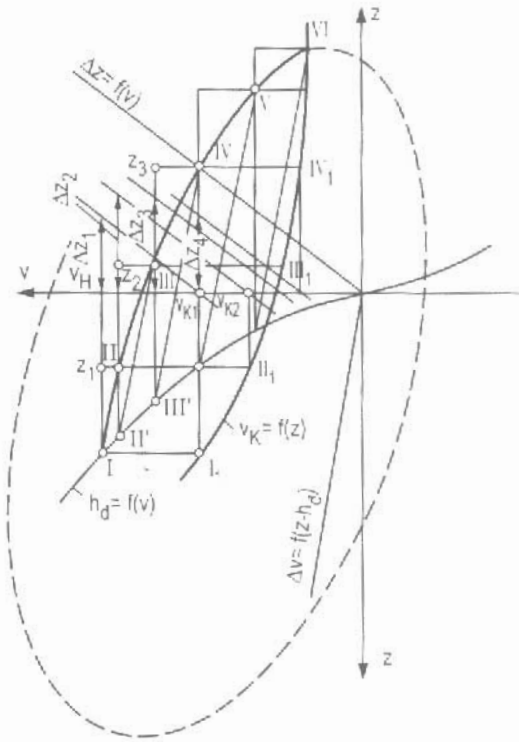
H - cột nước của tuabin;

η - hiệu suất tổ máy.

Dao động của mực nước trong giếng sẽ làm cho cột nước tác dụng H thay đổi mà kết quả là với điều kiện N = const (η thay đổi rất ít) thì sẽ làm cho Q_T thay đổi).

Tính toán vận tốc tắt của dao động tiến hành trong điều kiện mực nước thượng lưu thấp nhất (chính xác hơn - cột nước bé nhất) và hệ số tổn thất cột nước của đường dẫn bé nhất.

Để tính toán, ta tạm chỉ định một mực nước tăng hoặc giảm chút ít để gây dao động rồi theo dõi diễn biến của đường cong z = f(v). Nếu đường xoắn ốc tụ vào điểm tương



Hình 14.40: *Xây dựng đường dao động của mực nước trong giếng tru khi giữ nguyên công suất của tuabin*

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

ứng với chế độ ổn định cuối cùng, thì dao động giảm dần và có điều kiện làm việc ổn định. Còn nếu đường xoắn ốc không hội tụ hoặc biến thành đường cong kín, thì chứng tỏ là có sự tự dao động không tắt dần, tức là hệ làm việc không ổn định. Đồng thời ta tiến hành kiểm tra biên độ dao động, vì tác dụng của bộ điều tốc tự động có làm cho biên độ tăng lên một ít. Phương pháp xây dựng không khác nhiều so với phương pháp đã mô tả ở trên cho chế độ hạ và tăng tải.

Để làm ví dụ, trên hình 14.40 đã trình bày cách xây dựng cho trường hợp tháo tải từ $N_{bđ}$ xuống đến N_c.

Công suất ban đầu tương ứng với lưu lượng $Q_{bđ}$ và vận tốc $Q_{bđ}/F_đ$ trong đường dẫn, còn vận tốc cuối trong đường dẫn tương ứng với công suất cuối cùng N_c - sẽ phụ thuộc vào cột nước.

Để cho đơn giản, ta giả thử hiệu suất của tổ máy η = const. Khi đó:

$$v_c = \frac{N_c}{9{,}81\eta(H_{cột} - z)F_đ} \text{ (đường parabôn).}$$

Hãy xây dựng đường cong $v_c = f(z)$ trong các tọa độ vz. Chỉ định cho khoảng thời gian tính toán một độ dài, rồi theo công thức (14-125) vẽ đường Δv, theo (14-126) - vẽ đường Δz tương ứng với $Q_T = 0$. Quá trình xây dựng bắt đầu từ điểm I. Vẽ đường I - I_1, xác định v_{c1}. Qua điểm v_{c1} trên trục hoành vẽ đường thẳng song song với đường Δz, rồi tìm Δz_1 và dựng điểm II. Sau đó xác định Δz_{c2}, vẽ đường song song Δz, tìm Δ_{z2} rồi theo đó từ II' xây dựng điểm III v.v... Kết quả là ta được đường cong $z = f(v)$ cần tìm. Hình 14.40 là đường xoắn ốc không hội tụ. Điều đó chứng tỏ kích thước của giếng còn chưa đủ lớn. Nếu phải tính chính xác hơn thì khi xây dựng đường $z = f(t)$ có thể tính thêm đến sự thay đổi của hiệu suất của tuabin theo sự thay đổi của cột nước và độ mở, và cả sự thay đổi của tổn thất trên đường dẫn nữa.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Chương 15

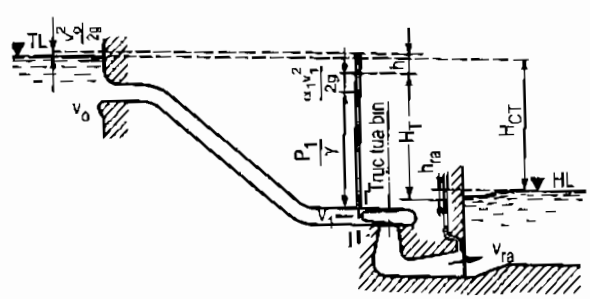
CÁC MÁY THỦY LỰC

15.1. TUABIN

Trong tuabin, cơ năng của chất lỏng biến thành cơ năng làm quay máy (hình 15.1).

Cột nước tĩnh H_t - độ chênh mực nước giữa thượng và hạ lưu (lấy cách xa TTĐ một đoạn)

$$H_t = \blacktriangledown TL - \blacktriangledown HL$$



Hình 15.1: *Sơ đồ trạm thủy điện*

Cột nước của tuabin H (đôi khi còn gọi là cột nước trọng lực) - hiệu năng lượng đơn vị ở mặt cắt vào I - I và mặt cắt ra của ống hút.

$$H = H_t - h_{tt} \qquad (15\text{-}1)$$

Ở đây: h_{tt} - tất cả các tổn thất thủy lực trong ống dẫn đến và đi. Theo tiêu chuẩn quốc tế, cột nước của tuabin xác định theo biểu thức:

$$H = H_t - h_{tt} + h_{ra} - \frac{v_{ra}^2}{2g} \qquad (15\text{-}1')$$

h - độ chênh phục hồi (xem mục 10.25) hay hiệu quả phun xiết (mục 10.24, 10.26).

Nếu mực nước trong ống đo áp thấp hơn ▼HL (như trên hình vẽ 15.1) thì $h_{ra} > 0$. Đại lượng h_{ra} phụ thuộc vào hình thức nối tiếp ở hạ lưu và vào chế độ làm việc của tuabin.

Công thức (15-1') thường được sử dụng khi thử tuabin về mặt bảo hành.

Theo mã quốc tế, khi xác định hiệu suất tuabin bằng cột nước theo (15-1) ta còn phải trừ cột nước vận tốc $v_{ra}^2/2g$ trong đó v_{ra} - vận tốc trung bình tại mặt cắt ra của ống hút (hình 15.1).

Công suất lắp máy của tuabin:

$$N = \frac{\gamma Q H \eta}{102} \quad (kW) \qquad (15\text{-}2)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

trong đó: γ - trọng lượng riêng của chất lỏng (kg/m^3);

Q - lưu lượng đi qua tuabin (m^3/s);

H - cột nước của tuabin (m);

η - hiệu suất.

Đối với nước γ = 1000 kG/m^3, công thức về công suất được viết là:

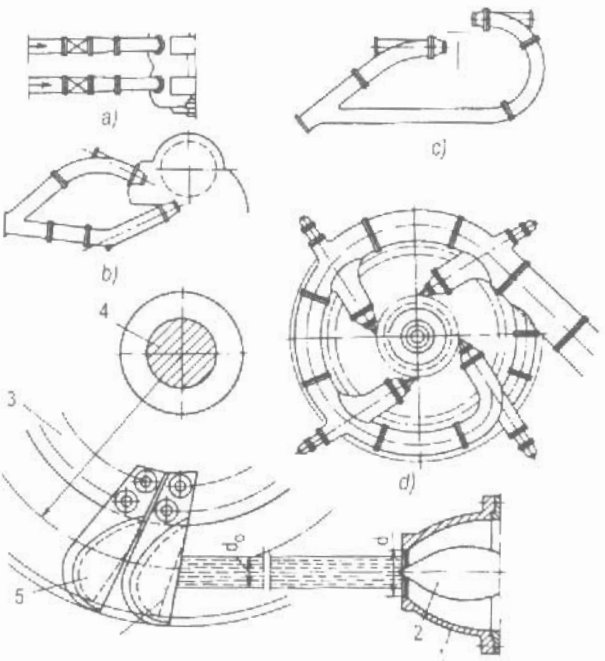
$$N = 9,81QH\eta \quad (kW) \qquad (15\text{-}2')$$

Cột nước tính toán của tuabin H_{tt} - cột nước nhỏ nhất mà tuabin có công suất tiêu chuẩn.

Các dạng và các hệ thống tuabin. Tùy thuộc vào cột nước và công suất của trạm thủy điện, người ta dùng các loại tuabin khác nhau. Có thể chia tuabin hiện hành ra làm hai lớp: a) tuabin xung kích và b) phản kích.

a) Tuabin xung kích

Hệ phổ biến nhất của nhóm tuabin này là tuabin gáo (tuabin Pentôn) (hình 15.2). Các chi tiết cơ bản của tuabin này là vòi phun 1 và nước từ đường ống có áp được dẫn đến: kim điều chỉnh 2 cho phép thay đổi mở của vòi phun bằng cách xê dịch kim theo phương trục, và bánh xe công tác 3 được lắp trên trục 4. Trên chu vi bánh xe công tác có các gáo - bản lá 5 mà luồng chảy từ vòi phun sẽ đập vào.



Hình 15.2: *Tuabin gáo*

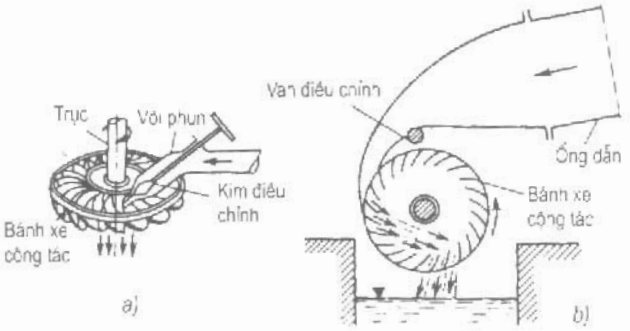
Tuabin gáo được phân loại theo cách bố trí trục (ngang và đứng), theo số lượng vòi phun (1, 2, 3, 4, 6 vòi phun); theo số lượng bánh xe công tác trên một van (một bánh xe, hai bánh xe). Trên hình 15.2 trình bày các cách dẫn nước đến bánh xe công tác: a và b - đối với tuabin ngang; c và d - đối với tuabin đứng.

Tuabin gáo được dùng với các cột nước cao nhất: 300 ÷1800m.

https://tieulun.hopto.org

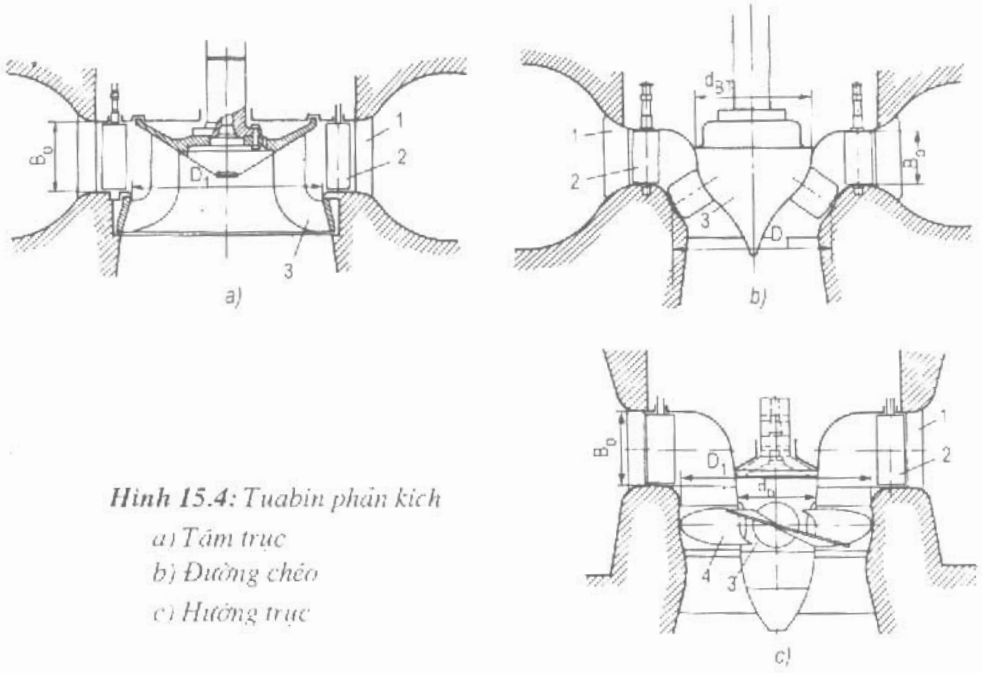
www.thuvien247.net

Đôi khi người ta còn sử dụng các loại tuabin xung kích khác: tuabin luồng nghiêng (Tiugô) (hình 15.3a), tuabin hai lần (Banki, hình 15.3b). Bánh xe công tác của tất cả các tuabin xung kích đều quay trong không khí và không được ngập nước. Cho nên về nguyên tắc, tuabin phải được đặt cao hơn cao trình mực nước cao nhất của hạ lưu. Điều đó làm mất thêm một lương tổn thất cột nước bổ sung do chiều cao lắp máy.



Hình 15.3: *Tuabin luồng nghiêng và tuabin xung kích loại hai lần*

b) Tuabin phản kích (hình 15.4)



Hình 15.4: *Tuabin phản kích*
a) Tâm trục
b) Đường chéo
c) Hướng trục

Dạng phổ biến nhất của loại tuabin này là: tuabin tâm trục (Frenxi), tuabin đường chéo và tuabin hướng trục (Kaplan).

Các chi tiết cơ bản của tuabin phản kích là: stato gồm trụ đỡ 1 có nhiệm vụ nối các vòng đỡ trên với dưới; thiết bị hướng nước gồm các cánh quay hướng nước 2 (số

https://tieulun.hopto.org

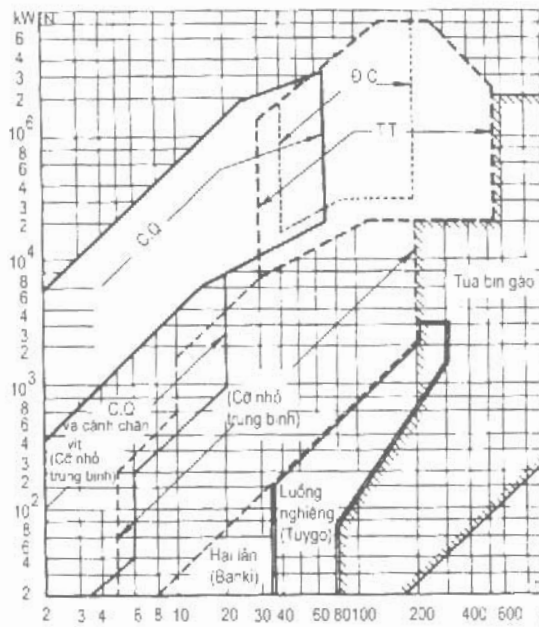
www.thuvien247.net

lượng chúng khoảng 16, 24 hoặc 32) và bánh xe công tác 3 gắn cứng với trục. Như ta thấy trên hình 15.4, stato và thiết bị hướng nước ở tất cả các loại tuabin phản kích đều có kết cấu giống nhau. Sự khác nhau cơ bản giữa các dạng là các bánh xe công tác. Trong các tuabin tâm trục, các cánh cong 3 (số lượng của chúng từ 13 - 19) của bánh xe công tác được gắn định vị với vành trên và dưới. Các tuabin đường chéo và hướng trục thường có cánh quay. Bánh xe công tác của chúng gồm bầu cánh 3, trên đó gắn các cánh 4. Trong lúc bánh xe quay, các cánh đó có thể thay đổi góc đặt (quay). Trong tuabin đường chéo, bánh xe công tác có 8 - 12 cánh, trong tuabin hướng trục có 4 - 8 cánh. Nếu các cánh không xoay được, thì tuabin gọi là tuabin chân vịt.

Các kích thước đặc trưng cơ bản của tuabin phản kích là đường kính D_1 (trình bày trên hình 15.4) và chiều cao của thiết bị hướng nước B_0.

Nước được dẫn đến các tuabin phản kích qua buồng tuabin bao quanh stato. Nước từ bánh xe công tác xuống hạ lưu được dẫn bằng ống hút, là một ống dẫn khuếch tán (mở rộng)[1].

Phạm vi sử dụng các loại và các hệ tuabin khác nhau được trình bày trên hình 15.5. Ranh giới về cột nước và công suất không phải hoàn toàn là cố định. Ranh giới trên về công suất cơ bản được xác định bằng kích thước lớn nhất của bánh xe công tác D_1. Người ta chia tuabin xung kích ra làm loại lớn (D_1 từ 2÷2,5m đến 8,5÷10m) đối với cột nước trung bình và đến 4,5÷6m đối với cột nước cao), loại nhỏ và trung bình ($D_1 < 1,8÷2,5$m).



Hình 15.5: *Phạm vi sử dụng các loại tuabin khác nhau*

Phương trình cơ bản của tuabin (phương trình Ơle) biểu thị sự liên hệ giữa đại lương tỉ năng đã truyền cho bánh xe công

[1] Chi tiết hơn về tuabin nước xem trong: Brôntsêin L. Ia và những người khác, "Sổ tay thiết kế tuabin", NXB Chế tạo máy, 1971; Kôvalep N. N. "Cấu trúc và tính toán tuabin nước", NXB Chế tạo máy, 1974; Kripsencô G. I. "Các máy thủy lực", NXB Năng lương, 1978.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

tác của từng kg nước đi qua bánh xe đó và các hình bình hành vận tốc trung bình ở ngay mặt cắt vào và ra trước bánh xe công tác (hình 15.6):

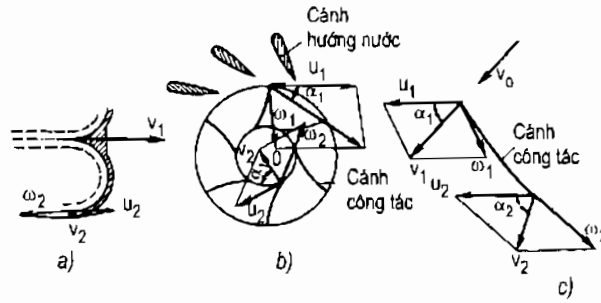
$$H\eta_{tl} = \frac{u_1 v_1 \cos\alpha_1 - u_2 v_2 \cos\alpha_2}{g} \qquad (15\text{-}3)$$

trong đó:

$H\eta_{tl}$ - tỉ năng truyền cho bánh xe công tác (H - cột nước tuabin; η_{tl} - hiệu suất thủy lực);

g - gia tốc rơi tự do;

Các kí hiệu còn lại ghi trên hình 15.6.



Hình 15.6: *Hình bình hành vận tốc của tuabin*
a) Gáo; b) Tâm trục; c) Hướng trục

Nếu xét đại lượng lưu số vận tốc, mà đối với dòng chảy đối xứng trục bằng: $\Gamma = \pi D v \cos\alpha$ thì có thể viết phương trình Ơle dưới dạng khác:

$$H\eta_{tl} = \frac{\omega}{2\pi g}(\Gamma_1 - \Gamma_2) \qquad (15\text{-}3')$$

trong đó: ω - vận tốc góc quay của bánh xe công tác;

Γ_1 và Γ_2 - lần lượt là lưu số dòng chảy trước và sau bánh xe công tác.

Chế độ làm việc tối ưu của tuabin, trong đó hiệu suất có trị số lớn nhất được xác định theo hai điều kiện:

a) Nước không bị va đập ở chỗ vào của bánh xe công tác, khi đó phương của vận tốc tương đối W_1 ở mép vào phải trùng với phương tiếp tuyến của cánh bánh xe công tác tại điểm đó.

b) Phương của dòng chảy sau bánh xe công tác phải là tốt nhất sao cho tổn thất trong ống hút là bé nhất. Về nguyên tắc, các điều kiện này gần với phương xuyên tâm và hướng trục của v_2, tức là khi $\alpha_2 = 90^0$ hoặc khi lưu số ra $\Gamma_2 = 0$ (còn gọi là điều kiện "ra bình thường").

Việc tính lại các thông số tuabin khi cột nước và trị số đường kính thay đổi (loại tuabin không thay đổi, tức là tương tự hình học giữa các bộ phận nước chảy qua

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

tuabin vẫn giữ nguyên) trong các điều kiện tương tự về chế độ làm việc, tức là tương tự giữa các hình bình hành vận tốc tương ứng, được tiến hành theo các công thức tính toán sau đây:

$$\left.\begin{aligned} \frac{n_1}{n_2} &= \frac{D_2}{D_1}\frac{\sqrt{H_1\eta_{tl1}}}{\sqrt{H_2\eta_{tl2}}} \\ \frac{Q_1}{Q_2} &= \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 \frac{\sqrt{H_1\eta_{tl1}}}{\sqrt{H_2\eta_{tl2}}} \\ \frac{N_1}{N_2} &= \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 \frac{H_1\eta_1}{H_2\eta_2}\frac{\sqrt{H_1\eta_{tl1}}}{\sqrt{H_2\eta_{tl2}}} \end{aligned}\right\} \qquad (15\text{-}4)$$

Trong các công thức (15-4) η_1 và η_2 - các hiệu suất toàn phần, còn η_{tl1} và η_{tl2} - hiệu suất thủy lực. Việc tính lại tần số quay và lưu lượng không kể đến sự thay đổi hiệu suất của máy được tiến hành theo các hệ thức:

$$\left.\begin{aligned} \frac{n_1}{n_2} &= \frac{D_2}{D_1}\frac{\sqrt{H_1}}{\sqrt{H_2}} \\ \frac{Q_1}{Q_2} &= \frac{D_1^2}{D_2^2}\frac{\sqrt{H_1}}{\sqrt{H_2}} \end{aligned}\right\} \qquad (15\text{-}5)$$

Cần chú ý là theo các công thức (15-4) và (15-5) có thể tính lại các thông số của tuabin chỉ khi nào giữ nguyên vị trí (góc đặt) của các cánh hướng dòng (độ mở) và các cánh của bánh xe công tác trong các tuabin cánh quay.

Các thông số dẫn suất (đơn vị) n_1', Q_1', N_1' đặc trưng cho mỗi loại tuabin với bánh xe công tác có đường kính 1m, làm việc với cột nước hữu ích bằng 1m.

Các công thức tính lại theo các thông số đơn vị được xây dựng trên cơ sở các biểu thức (15-5):

$$\left.\begin{aligned} n &= n_1'\frac{\sqrt{H}}{D} \\ Q &= Q_1' D^2\sqrt{H} \end{aligned}\right\} \qquad (15\text{-}6)$$

Cũng có thể sử dụng các công thức chính xác hơn, xây dựng trên cơ sở các hệ thức (15-4), có xét đến sự thay đổi hiệu suất của tuabin.

Tỉ tốc của tuabin. Hệ số tỉ tốc n_s là tần số quay của một tuabin cùng loại làm việc với cột nước 1m (H = 1m) và sản ra một công suất 1 mã lực (N = 1m.*l*). Nếu đối với một tuabin nào đó đã biết tần số quay, cột nước và công suất (n/v/phút); H (m), N (kW), thì hệ số tỉ tốc có thể xác định bằng công thức sau:

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$n_s = \frac{n}{H}\sqrt{\frac{1,36N}{\sqrt{H}}} \qquad (15\text{-}7)$$

Nếu đã biết n_1' và Q_1' thì hệ số tỉ tốc n_s được xác định theo công thức:

$$n_s = 3,65 n_1' \sqrt{Q_1' \eta} \qquad (15\text{-}7')$$

Các giá trị của hệ số tỉ tốc của các dạng tuabin khác nhau được ghi trong bảng 15.1.

Bảng 15.1. Các hệ số tỉ tốc n_s của các dạng tuabin khác nhau

Dạng tuabin	n_s
Gáo có một vòi phun	3 - 24
Gáo có hai vòi phun	20 - 34
Gáo có bốn vòi phun	32 - 47
Gáo có sáu vòi phun	38 - 58
Luồng nghiêng	30 - 60
Tâm trục	80 - 300
Đường chéo	250 - 400
Hướng trục	400 - 1000

Ống hút của tuabin phản kích để dẫn nước từ bánh xe công tác xuống hạ lưu, có một vai trò năng lượng quan trọng.

Tỉ năng trung bình của dòng chảy sau bánh xe công tác tại mặt cắt 2-2 (hình 15.7) bằng:

$$e_2 = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g}$$

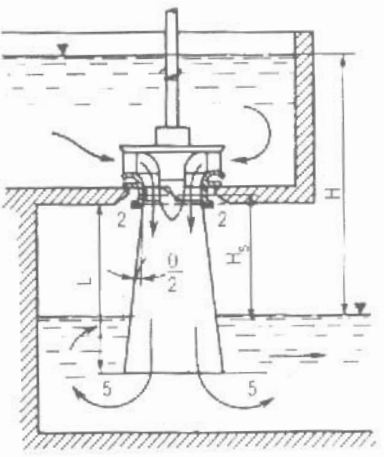
trong đó:

p_2/γ - áp suất đo áp;

z_2 - chiều cao mặt cắt so với mực nước hạ lưu (gần bằng $z_2 = H$);

v_2 và α_2 - vận tốc trung bình và hệ số Côriôlit.

Vì năng lượng e_2 không được bánh xe công tác sử dụng, nên người ta có xu hướng cố gắng giảm trị số của nó bằng cách lắp ống hút dạng hình nón (khuếch tán). Sơ đồ máy có lắp ống hút dạng hình nón đơn giản nhất được trình bày trên hình 15.7.



Hình 15.7: Ống hút hình nón

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Khi có ống hút, tỉ năng tại mặt cắt 2 - 2 được xác định bằng biểu thức:

$$e_2 = \frac{\alpha_5 v_5^2}{2g} + h_{\text{ôh}} \qquad (15\text{-}8)$$

trong đó: v_5 và α_5 - vận tốc và hệ số Côriôlit tại mặt cắt ra của ống hút;

$h_{\text{ôh}}$ - tổn thất thủy lực trong ống hút.

Theo công thức (15-8) có thể suy ra là, để giảm e_2, cần tăng mặt cắt 5 - 5 của ống hút và giảm tổn thất trong ống $h_{\text{ôh}}$. Điều đó được thực hiện bằng cách hạn chế góc hình nón $\theta \leq 12 \div 16°$, bằng hình dạng cong êm và bằng độ nhẵn bề mặt của ống hút.

Nếu không có ống hút, nước từ bánh xe công tác chảy ngay vào khí quyển thì $p_2/\gamma = 0$ và năng lượng ra tính cho hạ lưu sẽ bằng:

$$e_2 = \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + H_s$$

Khi đặt tuabin thấp hơn mực nước hạ lưu ($H_s < 0$), thì trong cùng điều kiện đó ta có:

$$e_2 = \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g}$$

Ống hút cho phép tận dụng năng lượng ứng với H_s là cột nước độ cao của vị trí tuabin so với hạ lưu (trong các tuabin xung kích năng lượng này tự tiêu tán) và một phần động năng Δe_{dn} của nước sau bánh xe công tác:

$$\Delta e_{dn} = \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} - \frac{\alpha_5 v_5^2}{2g} - h_{\text{ôh}}$$

Trị số tương đối của động năng của nước sau bánh xe công tác là e_2/H phụ thuộc vào tỉ tốc hoặc cột nước:

H (m)	10	20	40	100	300
e_2/H (%)	60 - 80	35 - 45	16 - 25	6 - 10	2 - 3

Do đó, trong các tuabin cột nước thấp (tỉ tốc lớn) từ 40 ÷ 80% toàn bộ năng lượng là do ống hút tận dụng được.

Chất lượng của ống hút được đặc trưng bằng hiệu suất của nó:

$$\eta_{\text{ôh}} = \frac{\frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} - \frac{\alpha_5 v_5^2}{2g} - h_{\text{ôh}}}{\frac{\alpha_2 v_2^2}{2g}} \qquad (15\text{-}8a)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Tổn thất ra tương đối của ống hút:

$$\frac{e_5}{H} = \frac{\alpha_5 v_5^2}{2gH} \qquad (15\text{-}8b)$$

Trong thực tế, nếu các điều kiện chảy xuống hạ lưu được thuận lợi thì một phần năng lượng sẽ được phục hồi (h_{ra} trên hình 15.1). Các giá trị ước tính của vận tốc v_5 phụ thuộc vào cột nước được trình bày trên đồ thị hình 15.8. Bằng đồ thị đó ta có thể xác định gần đúng diện tích mặt cắt ra của ống hút.

Các ống hút có hình dạng rất khác nhau. Nói chung có thể chia chúng làm ba nhóm:

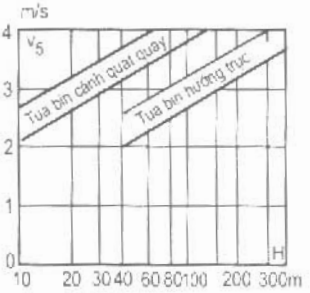
1. *Ống hút trục thẳng* (thường là hình nón cụt, hình 15.7) là loại có hiệu quả nhất ($\eta_{oh} = 0{,}80 \div 0{,}85$) nếu góc mở θ tương đối bé ($\theta \le 12 \div 16^0$). Độ dài cần thiết của ống hút hình nón cụt xác định theo công thức:

$$L = D_2 \frac{\sqrt{\frac{v_2}{v_5} - 1}}{2\mathrm{tg}\frac{\theta}{2}} \qquad (15\text{-}9)$$

trong đó:

D_2 - đường kính ra của bánh xe công tác hoặc buồng (kích thước chuẩn trên hình vẽ 15.28);

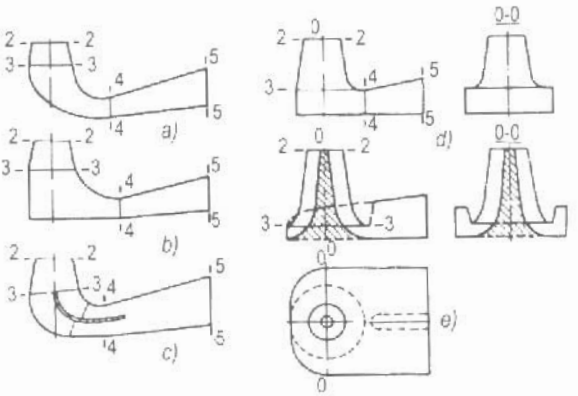
$v_2 = 4Q_{max}/\pi D^2$ - vận tốc khi công suất tuabin lớn nhất.



Hình 15.8: *Quan hệ giữa vận tốc ra và cột nước tuabin*

Mặc dù có các chỉ tiêu năng lượng tốt, song ống hút hình nón chỉ dùng được cho loại tuabin công suất nhỏ. Đối với loại tuabin lớn chỉ dùng khi cột nước rất lớn (H > 150 ÷ 200m). Các ống hút trục thẳng còn dùng cho tuabin cánh quay trục ngang lớn, ví dụ cho tổ máy capxun (hình 15.11d).

2. *Ống hút cong* được sử dụng rộng rãi ở các trạm thủy điện lớn và trung bình có tuabin trục đứng. Một vài loại ống hút cong được vẽ trên hình 15.9. Mỗi một ống như vậy có ba đoạn cơ bản: đoạn hình nón (giữa các mặt cắt 2-2 và 3-3); đoạn khuỷu giữa các mặt cắt 3-3 và 4-4) và đoạn khuếch tán thẳng hoặc



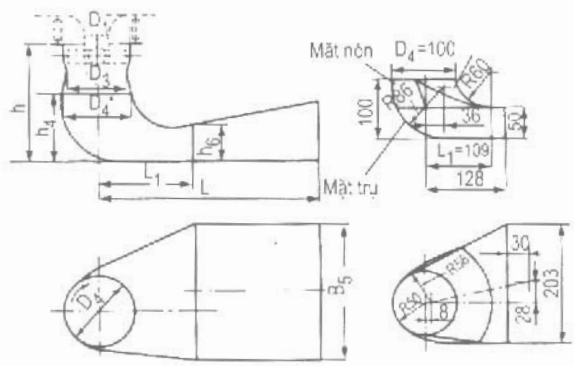
Hình 15.9: *Các dạng ống hút*

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

nghiêng (giữa các mặt cắt 4-4 và 5-5). Các kích thước cơ bản của ống hút là: chiều cao h, chiều dài L và chiều rộng B_5 (hình 5.10).

Ở Liên Xô loại ống hút có khuỷu N°4 (các kích thước cho trên hình 15.10) được sử dụng rộng rãi với cách bố trí phần khuếch tán đối xứng và không đối xứng (trong bình đồ). Các kích thước ước lượng của các ống tính tương ứng với đường kính của bánh xe công tác D_1, được ghi trong bảng 15.2.



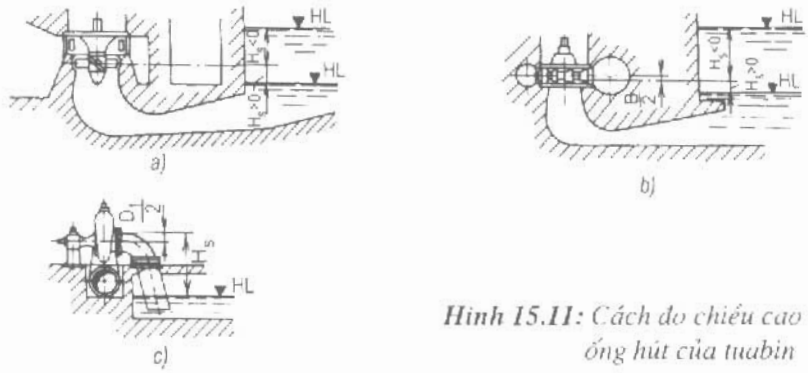
Hình 15.10: *Các ống hút cong với khuỷu N°4*

Bảng 15.2. Các kích thước tương đối của ống hút

Loại ống	h	D_1	L_1	L	B_5	h_4	h_5	h_6
4A	1,915	1,1	1,4	3,5	2,5	1,1	1,0	0,55
4C	2,3	1,2	1,5	4,5	2,4	1,17	1,2	0,60
4H	2,5	1,35	1,75	4,5	2,7	1,35	1,3	0,67

Ống 4A dùng cho tuabin hướng trục cánh quay; 4C - cho tuabin hướng trục và tâm trục; 4H - chủ yếu cho tâm trục. Đối với loại tuabin đường chéo có thể dùng các ống 4A và 4C. Việc tăng chiều cao ống h thường dẫn đến tăng đôi chút hiệu suất và khả năng tháo của tuabin (lưu lượng lớn nhất), nhưng lại làm cho các điều kiện chống xâm thực xấu đi một ít.

3. *Các ống hút có khuỷu* dùng cho tuabin trục ngang công suất nhỏ (hình 15.11c). Các ống này có hiệu suất thấp nhất ($\eta_{ôh}$ = 0,4 ÷ 0,5). Về cơ bản điều đó có liên quan đến đoạn hình nón có chiều dài không lớn.



Hình 15.11: *Cách đo chiều cao ống hút của tuabin*

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Hiện tượng xâm thực xuất hiện trong các tuabin khi trên tuyến thoát nước có những chỗ có độ giảm áp suất thấp hơn áp suất hơi nước bão hòa phụ thuộc vào nhiệt độ (bảng 15.3).

Bảng 15.3. Các giá trị của áp suất hơi nước bão hòa phụ thuộc vào nhiệt độ

Nhiệt độ nước (°C)	0	10	20	40	60	80	100
Áp suất hơi nước (m cột nước)	0,06	0,12	0,24	0,75	2,03	4,83	10,33

Quá trình phát triển xâm thực sẽ làm giảm công suất và hiệu suất của tuabin, gây rung động và có thể phá hoại máy. Mép ra của các cánh công tác, bề mặt của buồng bánh xe công tác, phần trên của ống hút hình nón, vòi phun và kim của tuabin gáo thường bị làm rỗ nhiều nhất. Biện pháp có hiệu quả nhất để ngăn ngừa hiện tượng xâm thực là loại trừ nguyên nhân gây ra nó. Trong các tuabin phản kích có thể ngăn ngừa xâm thực bằng cách hạn chế chiều cao hút H_s. Trên hình 15.11 trình bày phương pháp tính chiều cao hút áp dụng cho các loại tuabin khác nhau. Trị số cho phép của chiều cao hút được xác định bằng công thức sau đây:

$$H_s = 10 - \frac{\blacktriangledown}{900} - \sigma_{tt} H \qquad (15\text{-}10)$$

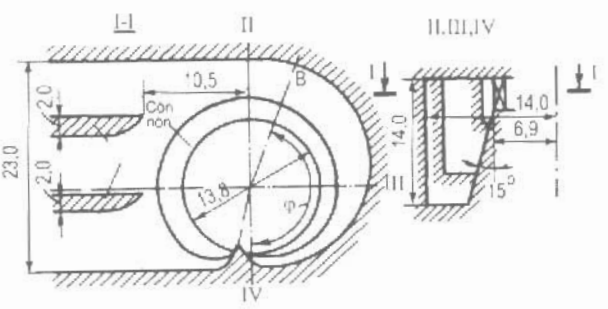
trong đó:

▼- cao trình tuyệt đối của hạ lưu (so với mặt biển) (m). Số hạng ▼/900 xét gần đúng đến sự giảm áp suất khí quyển ở độ cao so với mặt biển);

σ_{tt} - hệ số tính toán xâm thực: $\sigma_{tt} = \sigma.k$ (15-10a)

trong đó: σ - hệ số xâm thực xác định theo thí nghiệm mô hình trên thiết bị chuyên dùng (phân giới), k - hệ số dự trữ lấy bằng 1,1 - 1,3.

Buồng tuabin dùng để dẫn nước đến thiết bị hướng nước trong tuabin phản kích và tạo sự cấp nước đều trên toàn bộ chu vi. Người ta dùng các buồng tuabin kim loại và buồng bêtông.



Hình 15.12: *Buồng xoắn tuabin bằng bêtông* $D_1 = 9,0m$

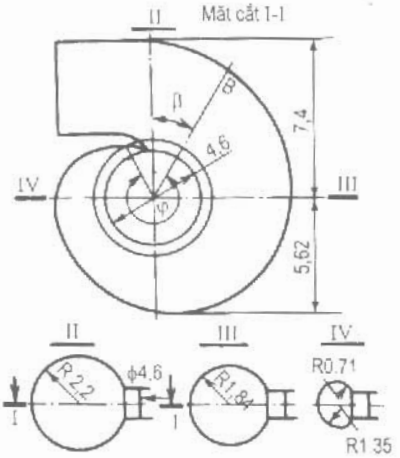
Buồng tuabin xoắn bằng bêtông được dùng khi cột nước dưới 35 ÷ 50m (hình 15.12). Góc bao của buồng bêtông φ_{bd}, đối với tuabin hướng trục lấy bằng 180 ÷ 240°.

https://tieulun.hopto.org

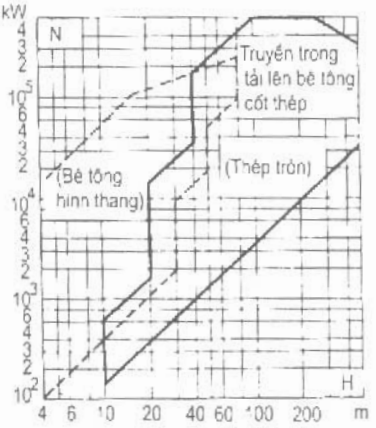
www.thuvien247.net

Đối với các tuabin đường chéo và tăm trục người ta dùng các buồng tuabin bằng bêtông cốt thép với góc bao đến 270°.

Các buồng xoắn bằng kim loại (hàn hoặc đúc) có trị số góc bao 330 ÷ 345° và mặt cắt ngang hình tròn (hình 15.13).



Hình 15.13: Buồng xoắn tuabin bằng kim loại $D_1 = 3,8m$



Hình 15.14: Phạm vi ứng dụng các buồng tuabin khác nhau

Đối với trạm thủy điện nhỏ, khi cột nước thấp người ta dùng phổ biến kiểu hở, mặt cắt chữ nhật (hình 15.7).

Phạm vi ứng dụng các loại buồng khác nhau, phụ thuộc vào công suất và cột nước của tuabin được trình bày trên đồ thị hình 15.14. Các kích thước của buồng xoắn có thể xác định sơ bộ theo các nhận xét sau:

1. Lưu lượng Q_φ đi qua mặt cắt B lập với mặt cắt cuối một góc φ (hình 15.12 và 15.13), bằng:

$$Q_\varphi = Q_T \frac{\varphi}{360^\circ} \qquad (15\text{-}11)$$

trong đó: Q_T - lưu lượng toàn phần của tuabin;

φ - góc tính từ mũi (độ).

Tương ứng, lưu lượng đi qua mặt cắt vào II bằng:

$$Q_{II} = Q_T \frac{\varphi_{bao}}{360^\circ} \qquad (15\text{-}11a)$$

2. Trị số diện tích mặt cắt của buồng xoắn F_φ được xác định với giả thiết là vận tốc trung bình v_{bx} là cố định trên cả chiều dài của buồng xoắn:

$$F_\varphi = \frac{Q_\varphi}{v_{bx}} \qquad (15\text{-}12)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Trị số vận tốc trong buồng xoắn phụ thuộc vào cột nước của tuabin:

$$v_{bx} = k_{bx}\sqrt{H_{tt}} \qquad (15\text{-}13)$$

Có thể xác định sơ bộ hệ số k_{bx}, cho buồng xoắn bêtông theo công thức:

$$k_{bx} = 1,1 - 0,32\lg\frac{H_{tt}}{10} \qquad (15\text{-}13a)$$

trong đó: H_{tt} - cột nước tính toán của tuabin. Đối với các buồng xoắn thép phải tăng hệ số k_{bx} lên 15 - 20%.

Để tính toán chính xác hơn diện tích mặt cắt ngang của buồng xoắn người ta dùng giả thiết về sự cố định của mômen vận tốc trên mặt cắt:

$$v_{bx}r = \text{const} \qquad (15\text{-}13b)$$

trong đó: r - khoảng cách từ yếu tố đang xét đến trục của bánh xe công tác.

Có thể tính buồng xoắn theo sự giảm vận tốc trung bình trên chiều dài. Phương pháp đó cho phép giảm được các kích thước mặt cắt vào mà không làm xấu các đặc trưng năng lượng của tuabin một cách rõ rệt.

Các đặc trưng của tuabin. Khi có sự thay đổi các điều kiện làm việc của tuabin (độ mở của thiết bị hướng nước a, tần số quay n, cột nước H, v.v...), các thông số cơ bản của nó cũng thay đổi theo (công suất N, hiệu suất η, lưu lượng Q, hệ số xâm thực σ v.v...). Nói chung, đối với loại tuabin đã cho, có thể viết N (D, H, n, a); η (d, H, n, a) v.v..., tức là từng thông số của tuabin là hàm số của bốn biến độc lập, đối với tuabin cánh quay còn cần bổ sung thêm biến độc lập thứ năm - góc đặt các cánh của bánh xe công tác φ, do đó N (D, H, n, a, φ).

1- *Các đường đặc trưng tuyến tính* cho ta mối liên hệ giữa hai thông số bất kì của chế độ làm việc của tuabin khi ba thông số khác được giữ cố định (đối với các tuabin cánh quay - cố định bốn thông số). Để đánh giá các tính chất của tuabin có thể vẽ một số loại đường đặc trưng tuyến tính đó.

a) Các đường đặc trưng lưu lượng N = N (Q); η = η (Q); σ = σ (Q); v.v... được vẽ với D = const; n = const; H = const.

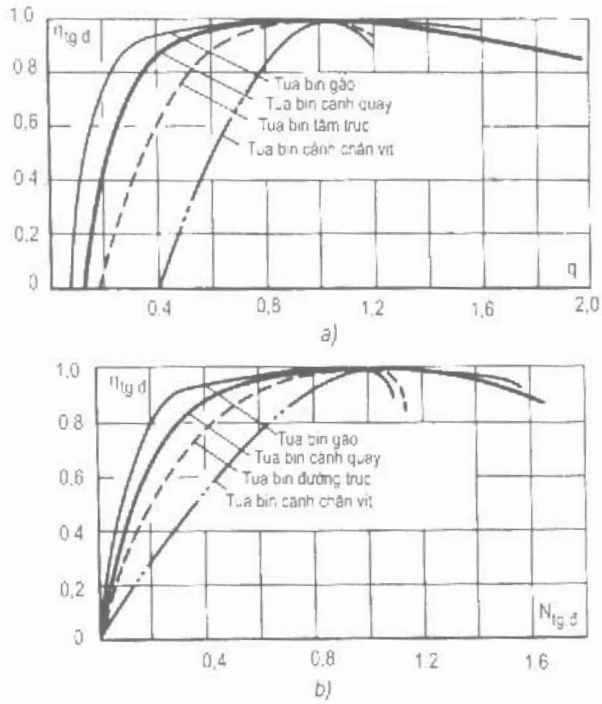
b) Các đường đặc trưng số vòng quay N = N (n); η = η (n); σ = σ (n); v.v... được vẽ với D = const, n = const và a = const.

c) Các đường đặc trưng cột nước N = N (H); η = η (H); σ = σ (H); v.v... được vẽ với giả thiết D = const, n = const và a = const.

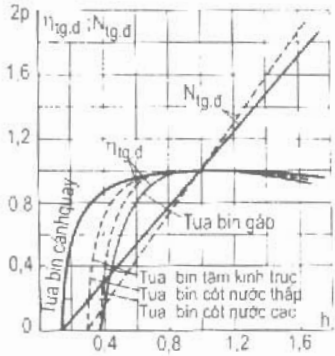
Để so sánh các tính chất của các tuabin khác nhau thuận lợi hơn cả là dùng các đường đặc trưng vẽ trong các tọa độ không thứ nguyên ứng với các giá trị có lợi nhất của các thông số (hiệu suất, lưu lượng, công suất v.v...). Trên hình 15.15 và 15.16 trình bày các đường đặc trưng tương đối: lưu lượng và công suất (khi cột nước và tần số quay cố định) và cột nước (khi tần số và độ mở cố định).

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 15.15: Các đặc trưng làm việc tương đối của các loại tuabin khác nhau. a) Lưu lượng; b) Công suất



Hình 15.16: Các đường đặc trưng cột nước tương đối của các loại tuabin

2. *Các đường đặc trưng tổng hợp* cho ta thấy đầy đủ hơn các tính chất của tuabin, vì các đặc trưng này chỉ vẽ với hai thông số cố định. Ta phân biệt hai dạng đường đặc trưng tổng hợp:

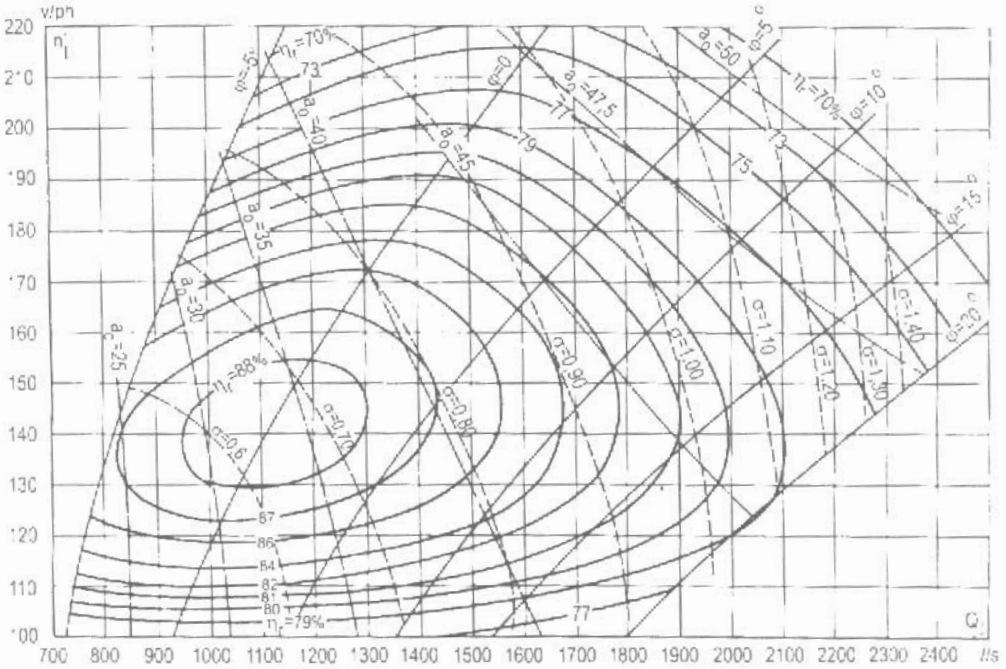
Đường đặc trưng tổng hợp chính được vẽ với D = const và H = const. Thường các đặc tính này được vẽ cho các thông số dẫn suất đơn vị D = 1m và H = 1m. Còn các đường hiệu suất - ứng với các giá trị đo thí nghiệm mô hình cung cấp, tức là hiệu suất tính cho kích thước mô hình. Vì vậy khi sử dụng các đường đặc trưng tổng hợp chính để chọn tuabin, cần lưu ý điều đó. Trên các hình 15.17 và 15.24, với các tọa độ Q'_1 và n'_1 đã cho các đường có giá trị như nhau của hiệu suất, của độ mở của thiết bị hướng nước, hệ số xâm thực, góc đặt các cánh bánh xe công tác (đối với tuabin cánh quay). Trên các đường đặc trưng của tuabin tâm - trục còn vẽ đường công suất giới hạn ứng với độ mở của thiết bị hướng nước sao cho công suất của tuabin đạt đến gần 95% trị số lớn nhất có thể có. Không được phép sử dụng tuabin ở các chế độ nằm bên phải đường công suất giới hạn.

Trên các hình 15.17 - 15.23 vẽ các đường đặc trưng tổng hợp điển hình của tuabin phản lực với đường kính mô hình D_1 = 46cm. Ở đây con số trong mã hiệu của tuabin là chỉ cột nước lớn nhất, là cột nước tính toán của tuabin (ví dụ, PO 75 -

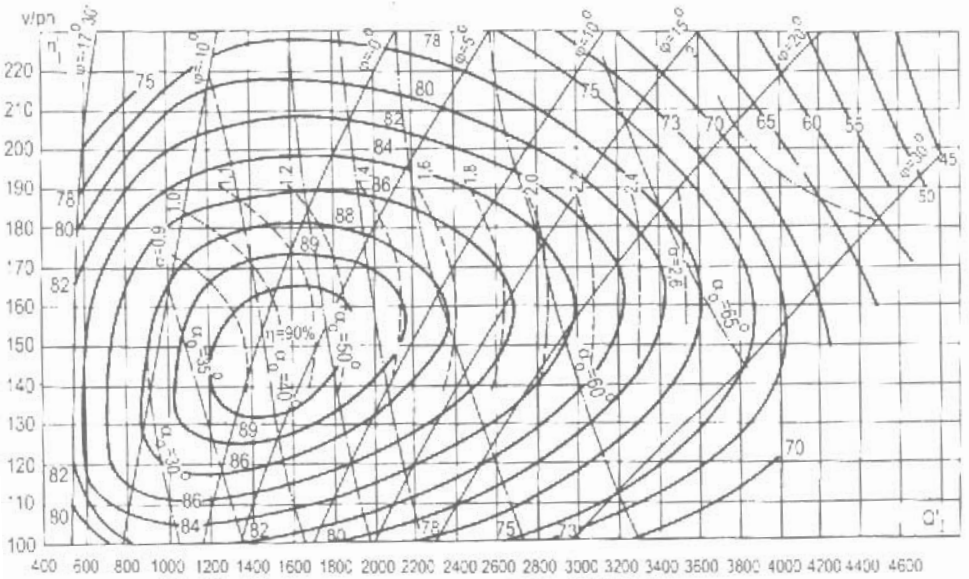
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

cho cột nước 75m). Có thể sử dụng các đặc trưng đó để chọn sơ bộ tuabin. Trên hình 15.24 vẽ đường đặc trưng tổng hợp của tuabin gáo.



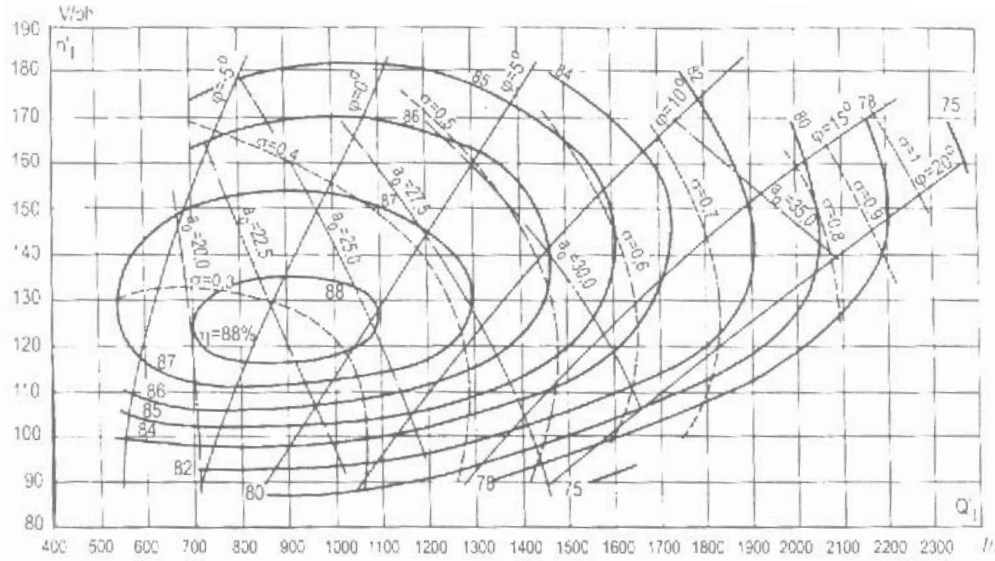
Hình 15.17: Đường đặc trưng tổng hợp của tuabin hướng trục ПЛ20



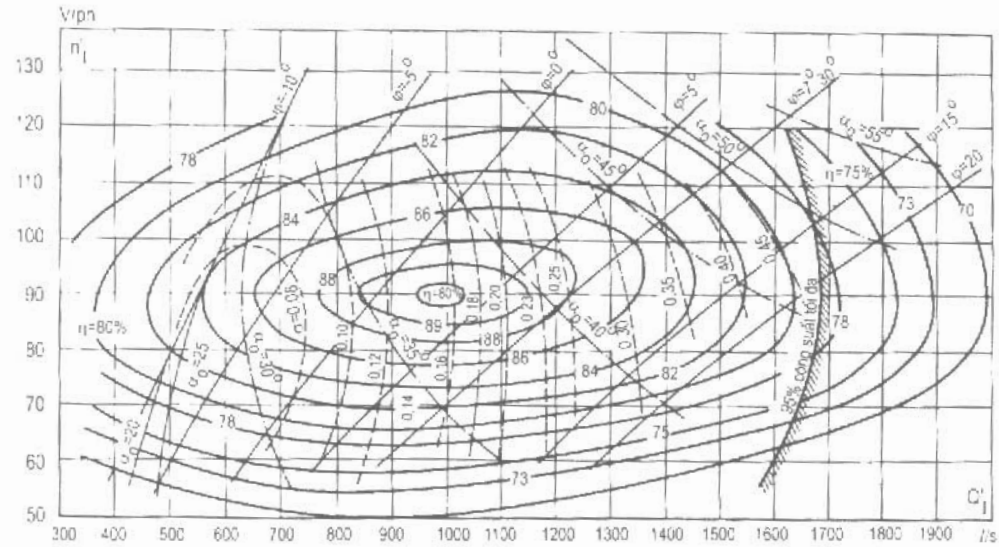
Hình 15.18: Đường đặc trưng tổng hợp của tuabin hướng trục ngang có tổ máy capxun ПЛ10 (độ mở cánh hướng nước α_0)

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



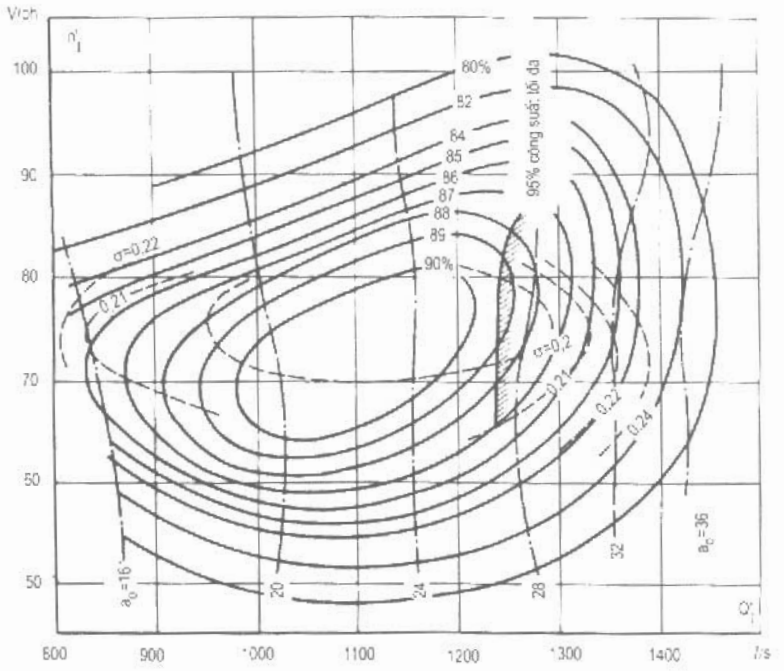
Hình 15.19: Đường đặc trưng của tuabin hướng trục ПЛ40



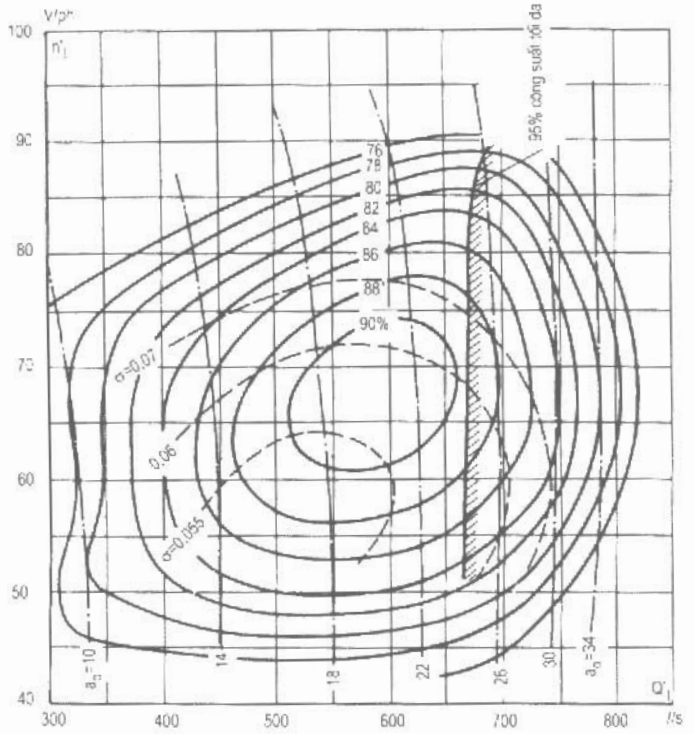
Hình 15.20: Đường đặc trưng tổng hợp của tuabin đường chéo Д75 (góc đặt các cánh bánh xe công tác 45°)

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



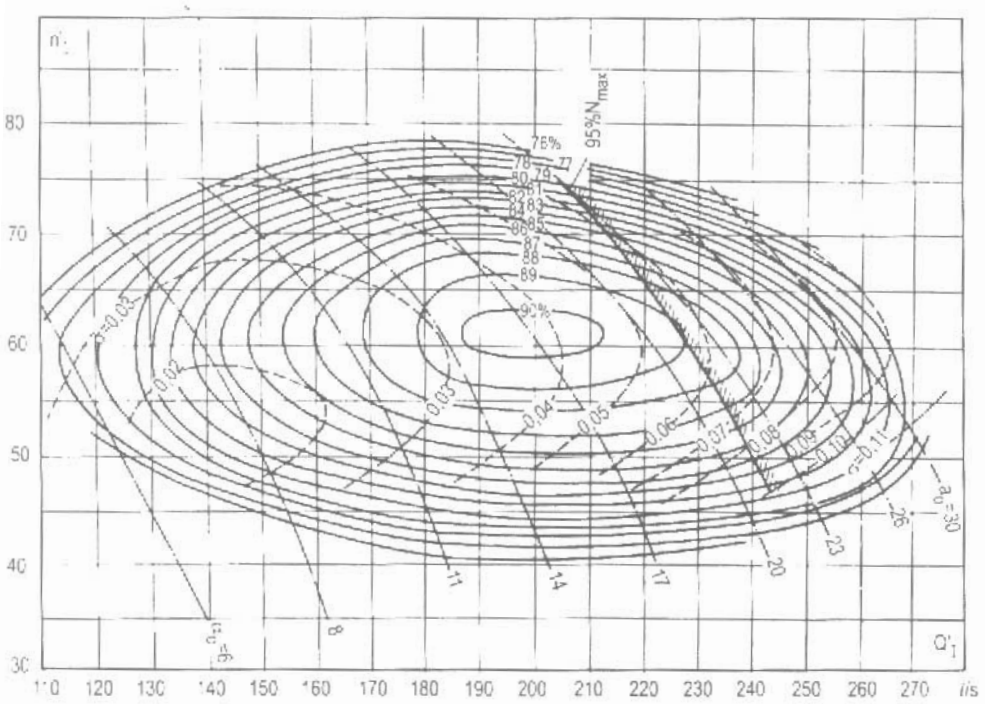
Hình 15.21: Đường đặc trưng tổng hợp của tuabin tâm trục PO 170



Hình 15.22: Đường đặc trưng tổng hợp của tuabin tâm trục PO75

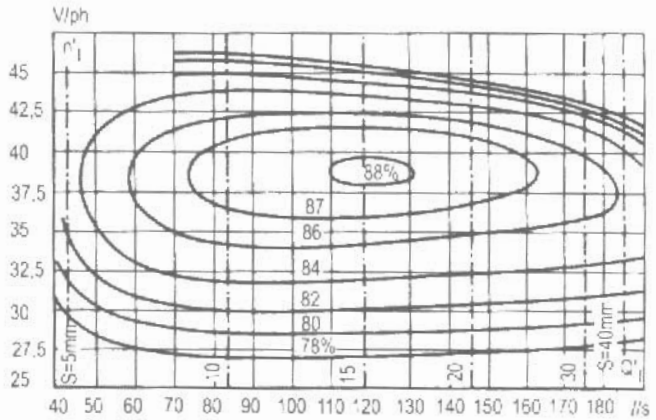
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 15.23: Đường đặc trưng tổng hợp của tuabin tâm trục PO 400

Các đường đặc trưng khai thác được vẽ với n = const và D = const (lấy các trị số thực của đường kính và của vận tốc quay của tuabin ở trạm thủy điện). Đường đặc trưng khai thác còn có thể vẽ theo đường đặc trưng tổng hợp chính bằng các công thức (15-4) hoặc (15-5). Ở đây cần lưu ý là khi tăng đường kính tuabin thì trị số hiệu suất cũng tăng. Việc tính lại hiệu suất có thể tiến hành theo công thức (15-15). Đường đặc trưng khai thác thường vẽ trong hệ tọa độ N - công suất tuabin (đôi khi lưu lượng Q) và H - cột nước.



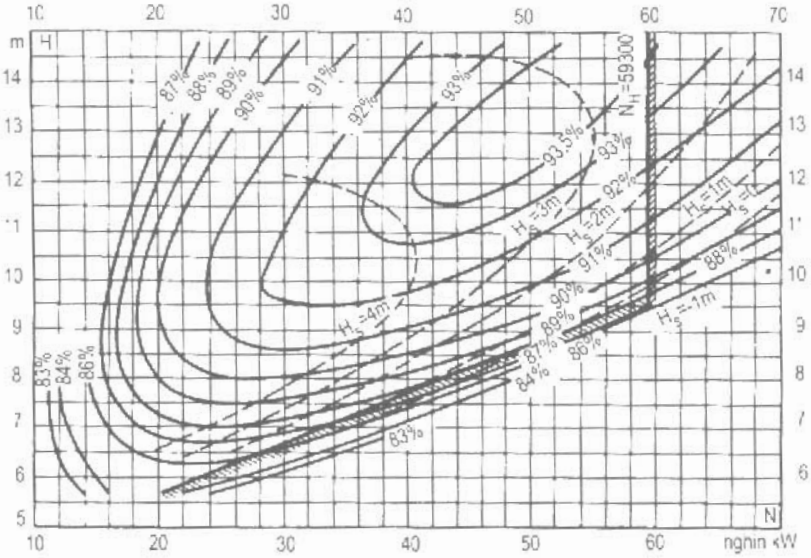
Hình 15.24: Đường đặc trưng tổng hợp của tuabin gáo một vòi phun
s - độ mở của kim

Trên hình 15.25 trình bày đường đặc trưng khai thác tổng hợp của tuabin cánh quay cỡ rất lớn. Cần lưu ý đến hai đường giới hạn công suất: đường nghiêng trong

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

khu vực cột nước thấp được xác định bằng độ mở lớn nhất và các điều kiện xâm thực; và đường thẳng đứng là đường được xác định bằng công suất định mức của máy phát.



Hình 15.25: Đường đặc trưng tổng hợp khai thác của tuabin hướng trục cánh quay (D_1 = 10,3m, n = 50 v/phút)

Mỗi điểm của đường đặc trưng tổng hợp tương ứng với một chế độ làm việc nhất định của tuabin. Ta chia ra hai chế độ làm việc:

1. Chế độ tối ưu (n'_{10}, Q'_{10}), ở đây tuabin có hiệu suất cao nhất ($\eta = \eta_{tư}$);

2. Chế độ giới hạn (n'_{1max} và Q'_{1max}), ở đây tuabin có trị số lớn nhất về độ mở thiết bị hướng nước. Đối với tuabin tâm trục và chân vịt chế độ đó được xác định bằng vị trí đường 95% trị số công suất cực đại, còn đối với tuabin cánh quay có thể có sự thay đổi tương đối lớn và được xác định về cơ bản, bằng các trị số cho phép của hệ số xâm thực (bằng đại lượng chiều cao hút).

Cách vẽ các đường đặc trưng khai thác:

Tính toán lại các giá trị tọa độ của từng điểm chế độ làm việc (Q'_1 và n'_1) của đường đặc trưng tổng hợp thành các tọa độ (H và N) của đường đặc trưng khai thác được tiến hành theo các công thức sau đây:

$$\left.\begin{aligned} H &= \left(\frac{nD}{n'_1}\right)^2 \frac{\eta_{ưmh}}{\eta_{tT}} \\ N &= 9,81 Q_T H \eta_T \end{aligned}\right\} \qquad (15\text{-}14)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

trong đó: $Q = Q'_1 D^2 \sqrt{H} \sqrt{\frac{\eta_{tlT}}{\eta_{tlmh}}}$ - lưu lượng tuabin;

η_T và η_{mh} - hiệu suất của tuabin và mô hình.

Trên các đường đặc tính tổng hợp chính thường ghi các giá trị hiệu suất thu được trực tiếp bằng thí nghiệm mô hình. Thí nghiệm chứng tỏ rằng, tăng kích thước của tuabin sẽ làm tổn thất trong tuabin giảm đi và do đó hiệu suất tăng lên.

Khi bảo đảm được sự tương tự giữa mô hình và tuabin thì hiệu suất thủy lực tối ưu của tuabin có thể xác định được bằng công thức sau:

$$\eta_{tlTt.ưu} = 1 - (1 - \eta_{tlmht.ưu}) \left[1 - \varepsilon_{ms} + \varepsilon_{ms} \sqrt[5]{\frac{D_m}{D_T}} \sqrt[10]{\frac{H_{mh}}{H}} \right] \qquad (15\text{-}15)$$

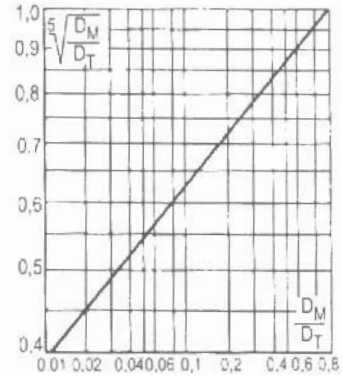
trong đó:

D_T và $\eta_{tlTt.ưu}$ - đường kính và hiệu suất thủy lực tối ưu của tuabin;

D_m và $\eta_{tlmht.ưu}$ - đường kính và hiệu suất thuỷ lực tối ưu của mô hình;

ε_{ms} - đại lượng tương đối của tổn thất do ma sát, thường lấy $\varepsilon_{ms} = 0,8 \div 0,6$;

H_{mh} và H - cột nước khi thí nghiệm mô hình tuabin và khi thử tuabin thực. Chỉ xét đến tỉ số các cột nước khi $H > 150m$ hay, chính xác hơn là khi $H_{mh}/H > 30$.



Hình 15.26: *Đồ thị để tính lại hiệu suất của tuabin*

Để đơn giản các tính toán, trên hình 15.26 đã cho các giá trị của $\sqrt[5]{D_{mh}/D_T}$ phụ thuộc vào D_{mh}/D_T.

Hiệu suất thủy lực đã được tính lại theo công thức (15-15). Để có hiệu suất toàn phần, cần trừ đi tổn thất cơ học $\Delta\eta_{ch}$ mà đối với tuabin thực bằng khoảng $1 \div 1,5\%$. Do đó:

$$\eta_{Tt.ưu} = \eta_{tlTt.ưu} - \Delta\eta_{ch}$$

Đối với các chế độ khác, có thể xác định hiệu suất tuabin bằng các hệ thức sau đây:

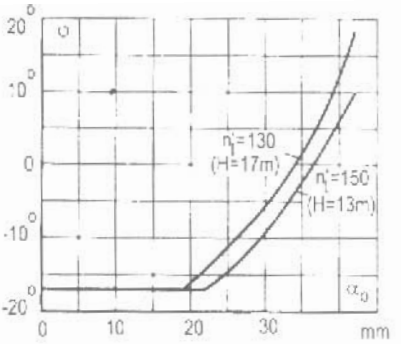
$$\eta_T = \eta_{mh} \frac{\eta_{Tt.ưu}}{\eta_{mh\ t.ưu}} \quad \text{hay} \quad \eta_T = \eta_{mh} + \eta_{T\ t.ưu} - \eta_{mh\ t.ưu}$$

Đặc trưng tổ hợp cho ta biết mối quan hệ giữa độ mở của thiết bị hướng nước a_o và độ quay của các cánh bánh xe công tác φ trong các tuabin cánh quay sao cho tuabin cho trị số hiệu suất cao nhất. Trong các điều kiện như vậy, người ta vẽ các đường đặc trưng tổng hợp và đường đặc trưng khai thác chính của tuabin cánh quay (hình 15.17 và 15.20). Hình dạng của đường đặc trưng tổ hợp phụ thuộc vào tần số

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

quay dẫn suất đơn vị η_1' hoặc, trong các điều kiện khai thác, khi tần số quay cố định - phụ thuộc vào cột nước H (hình 15.27). Có thể vẽ đường đặc trưng tổ hợp theo đường đặc trưng tổng hợp chính của tuabin cánh quay.



Hình 15.27: *Đường đặc tính tổ hợp của tuabin cánh quay (D_1 = 9,0m; n = 60 v/phút)*

Danh mục các tuabin phản kích bao gồm tất cả các kích thước tuabin từ bé nhất đến lớn nhất.

Trong các tuabin tâm trục, đường kính lớn nhất theo mép vào của cánh D_1 được xem là đường kính bánh xe công tác.

Đối với tuabin cánh quay, đường kính buồng chứa của bánh xe công tác D_1 (thực tế hầu như bằng đường kính của bánh xe công tác) được xem là kích thước cơ bản

Dưới đây là một số đường kính chuẩn của tuabin:

Tuabin nhỏ và trung bình D_1 (cm)	30, 35, 42, 50, 59, 71, 84, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 225, 250.
Tuabin lớn D_1 (cm)	280, 320, 360, 400, 450, 500, 550, 600, 650, 700, 750, 800, 850, 900, 950, 1000, 1050.

Mã hiệu của tuabin phản kích bao gồm loại và hình dạng kết cấu cũng như trị số đường kính của tuabin tính bằng cm.

Mã hiệu của tuabin phản kích có thể viết dưới dạng:

PO 75/702 – B-300;

ПЛ 20/661 – B-800.

Loại tuabin được kí hiệu tắt bằng PO - tâm trục; ПЛ - cánh quay (hướng trục); Д - đường chéo. Các con số sau mã hiệu là chỉ cột nước lớn nhất và số thứ tự bản thiết kế (loại tuabin). Như 75/702 là chỉ rằng tuabin tính cho cột nước dưới 75m, còn phần dẫn nước là loại N° 702. Cũng với cột nước trên có thể có phần dẫn nước các loại khác có hình dạng khác. Chữ B và Г chỉ cách bố trí trục là "thẳng đứng" hoặc "nằm ngang". Con số ở cuối mã hiệu (300, 800) - đường kính của bánh xe công tác tính bằng cm.

Khi chọn tuabin cho các trạm thủy điện cần xét đến chế độ làm việc của trạm, tức là đến sự dao động về công suất và cột nước theo thời gian.

Tuabin phản kích được chọn sơ bộ theo cột nước tính toán (thường lấy theo trị số gần với trị số nhỏ nhất) và bằng các thông số dẫn suất lấy theo đường đặc trưng tổng hợp hoặc theo các số liệu trong bảng 15.4 và 15.5.

https://tieulun.hopto.org

Bảng 15.4. Các thông số đặc trưng của tuabin cánh quay

Các chỉ số	Loại tuabin						
	ПЛ 15	ПЛ 20	ПЛ 30	ПЛ 40	ПЛ 50	ПЛ 60	ПЛ 70
Cột nước lớn nhất (m)	15	20	30	40	50	60	70
Tần số quay dẫn suất tối ưu $n'_{1.ưu}$	165	145	125	120	115	110	105
Tần số trung bình tính toán n'_{1t}	180	160	145	140	130	130	125
Phạm vi các giá trị Q'_{1max} nên sử dụng	2300 - 1900	2200 - 1750	2000 - 1500	1800 - 1400	1500 - 1200	1350 - 1100	1250 - 1000
Hệ số xâm thực σ ứng với Q'_{1max} và h'_{1t}	1,2 - 0,90	1,10 - 0,80	1,00 - 0,65	0,75 - 0,45	0,50 - 0,30	0,40 - 0,28	0,40 - 0,28

Bảng 15.5. Các thông số đặc trưng của tuabin tâm trục

Chỉ số \ Loại tuabin	PO 45	PO 75	PO 115	PO 170	PO 230	PO 310	PO 400	PO 500
Cột nước lớn nhất (m)	45	75	115	170	230	310	400	500
Tần số quay dẫn suất tối ưu $n'_{1.ưu}$	85	80	75	70	65	60	60	60
Lưu lượng dẫn suất ứng với 5% công suất dự trữ Q'_{1max}	1400	1200	1100	950 - 650	650 - 420	420 - 280	340 - 280	250 - 200
Hệ số xâm thực σ ứng với Q'_{1max}	0,22	0,16	0,13	0,11 - 0,07	0,075 - 0,047	0,045 - 0,04	0,045 - 0,038	0,04 - 0,036

www.thuvien247.net

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Ở đây cần lưu ý đến các điểm sau:

1. Đối với các tuabin ПЛ (bảng 15.4), ngoài tần số quay đơn vị tối ưu là $n'_{I.tưu}$, còn cho các đại lượng n'_{Itt} có trị số lớn hơn một ít. Khi chọn tuabin theo n'_{Itt} tần số quay được xác định theo điều kiện cột nước tính toán. Ở đây cần chú ý là cột nước trung bình theo sản lượng điện lớn hơn cột nước tính toán. Do đó, n'_{Itt} không còn là cố định nữa mà khi cột nước giảm xuống thì nó tiến gần đến $n'_{I.tưu}$.

2. Ở tuabin ПЛ, khi đã cho lưu lượng tính toán và các điều kiện xâm thực, thường không sử dụng khả năng tháo tối đa ứng với độ dự trữ công suất 5%. Trong bảng 15.4 đã ghi các giá trị ước tính Q'_{Imax} và các đại lượng tương ứng của hệ số xâm thực σ. Các giá trị trung gian có thể tìm bằng nội suy theo Q'_{Imax}.

Q'_{Imax} của tuabin PO ứng với cột nước tính toán thường lấy trên đường 95% công suất lớn nhất. Đối với các tuabin PO cột nước cao, có hai giới hạn Q'_{Imax} và các giá trị σ tương ứng để dùng cho các loại tuabin khác nhau, nhưng làm việc trên cùng cột nước đã nói trên (chúng có hình dạng phần dẫn nước khác nhau).

3. Có thể xác định các trị số hiệu suất trên cơ sở các đường đặc trưng tổng hợp dẫn suất hoặc tương ứng với độ mở lớn nhất (công suất) theo bảng 15.6.

Bảng 15.6. Trị số hiệu suất ước tính của tuabin khi độ mở (công suất) lớn nhất

N (kW)	4000	10000	40000	100000 và lớn hơn
η%	87 89	88 90	89 91	90 93

Trong các trạm thủy điện lớn và trung bình hiện đại, trục của tuabin và máy phát được nối cứng với nhau. Do đó tần số quay của tuabin n phải trùng khớp với tần số quay của máy phát. Từ điều kiện là tần số dòng điện bằng 50 chu kì trong một giây, tần số quay nói trên của máy phát được xác định bằng quan hệ sau:

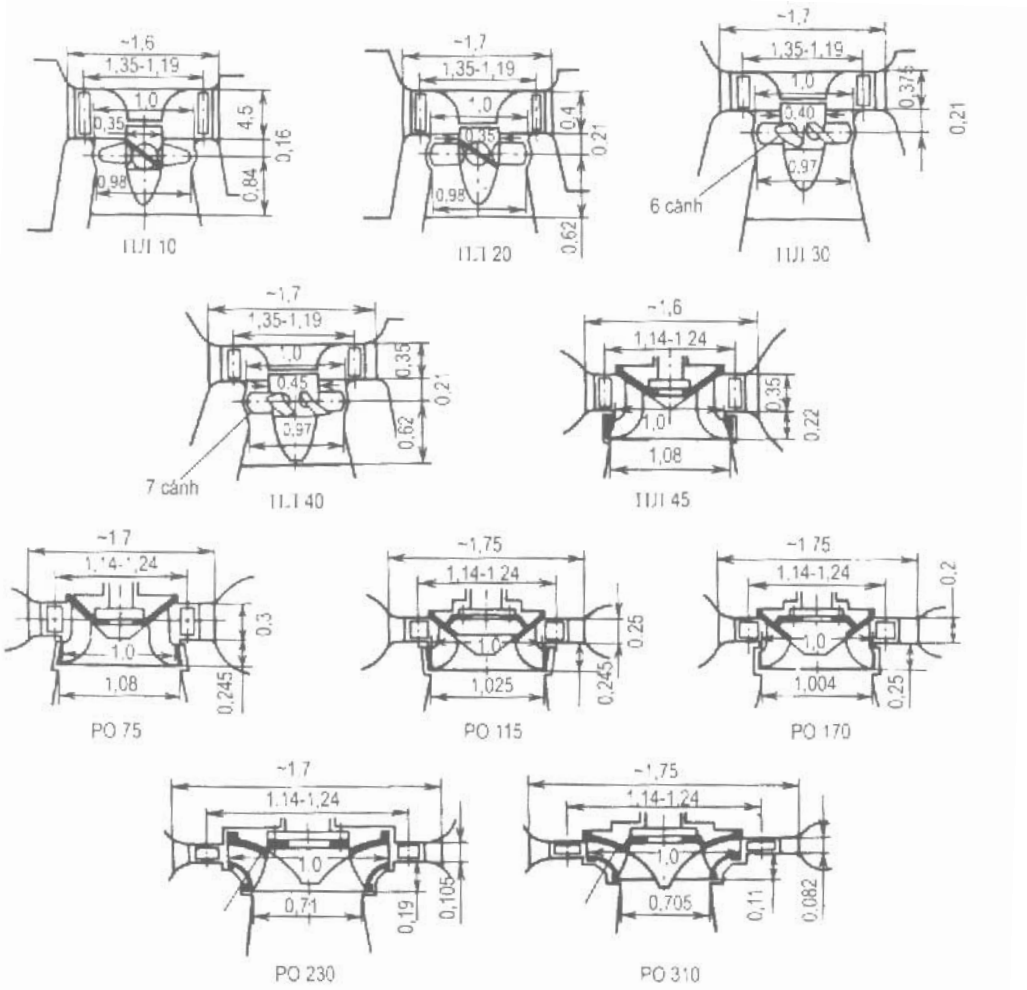
$$np = 6000 \qquad (15\text{-}16)$$

trong đó: p - số đối cực (p - số chẵn, nếu p > 24, thì nên lấy p là bội số của 4).

Có thể xác định các kích thước của tuabin phản kích theo đại lượng D_1 là đại lượng được tính trên cơ sở các số liệu ghi trên hình 15.28. Tất cả các kích thước cho trên hình 15.28 đều lấy D_1 làm đơn vị.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 15.28: *Các kích thước tương đối của các loại tuabin khác nhau*

Ví dụ: Cần chọn tuabin phản kích theo các thông số đơn vị. Cho cột nước tính toán H = 60m; cột nước lớn nhất 67m; công suất tổ máy N = 10000kW; cao trình hạ lưu so với mặt biển 300m.

1. Theo cột nước lớn nhất (bảng 15.5) ta chọn loại tuabin PO-75.

2. Ta xác định giá trị ước tính của hiệu suất của tuabin ứng với công suất cực đại $\eta = 87\%$ (bảng 15.6) và tính lưu lượng nước qua tuabin bằng công thức:

$$Q = \frac{N}{9,81 H \eta} = \frac{10000}{9,81.60.0,87} = 19,3 \ m^3/s$$

3. Xác định đường kính tuabin.

Đối với PO lưu lượng dẫn suất cực đại (tính toán) $Q'_I = 1,2 \ m^3/s$ (bảng 15.5). Dùng công thức (15-6) ta có:

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$Q = Q'_{1max} . D_1^2 \sqrt{H}$$

$$D_1^2 = \frac{Q}{Q'_{1max}\sqrt{H}} = \frac{19,3}{1,2\sqrt{60}} = 2,1$$

$$D_1 = 1,45m$$

Ta lấy kích thước lớn hơn gần nhất D_1 = 160cm theo các đường đặc trưng tổng hợp trên hình 15.18 và 15.19 (nếu lấy kích thước nhỏ hơn 140cm, ta sẽ không được công suất yêu cầu).

4. Ta xác định tần số quay. Tần số quay dẫn suất tối ưu $N'_{1\,t.ưu}$ = 75 v/phút (bảng 15.4); Dùng nó làm tần suất tính toán, theo công thức (15-6) ta có:

$$n = \eta_{1\,t.ưu} \times \frac{\sqrt{H}}{D} = \frac{75\sqrt{60}}{1,6} = 363 \text{ v/phút}$$

Ta tìm tần số quay gần nhất của máy phát theo công thức (15-16): khi p = 18; n = 333,3 v/phút; khi p = 16; n = 375,0 v/phút.

Ta lấy giá trị cuối cùng vì nó gần với trị số tối ưu đã tìm cho tuabin.

Lưu lượng qua tuabin sẽ bằng $Q = Q'_{1max} D^2 \sqrt{H} = 1,2.1,6^2\sqrt{60} = 23,8$ m^3/s. Công suất lớn nhất của tuabin N = 9,81.23,8.60.0,87 = 12200kW, tức là hơi lớn hơn yêu cầu.

5. Ta xác định chiều cao hút cho phép theo công thức (15-10). Hệ số xâm thực đối với tuabin PO-75 lấy theo bảng 15.3, $\sigma = 0,15$

$$H_c = 10\frac{\blacktriangledown}{900} - \sigma H = 10 - \frac{300}{900} - 0,15.60 = 0,67m$$

tức là cần đặt tuabin cao hơn mực nước hạ lưu không quá 0,67m.

Chọn sơ bộ tuabin gáo. Dùng đường kính bánh xe và đường kính vòi phun làm các kích thước cơ bản. Mã hiệu của tuabin gáo có thể viết như sau: K-35 - B300/25 × 4, tức là chỉ: tuabin gáo loại 35, trục đứng (trong trường hợp trục ngang ta ghi chữ Γ). Đường kính bánh xe công tác 300cm, bốn vòi phun đường kính mỗi vòi 25cm. Đường kính vòi phun lấy lớn hơn đường kính luồng một chút.

Vận tốc luồng trước khi vào cánh công tác (gáo) là:

$$v_1 = (0,96 \div 0,98)\sqrt{2gH} \qquad (15\text{-}17)$$

Vận tốc vòng tối ưu của bánh xe u sao cho hiệu suất có giá trị cao nhất cần phải hơi nhỏ hơn một nửa v_1. Thường lấy

$$u = (0,43 \div 0,47)\sqrt{2gH} \qquad (15\text{-}18)$$

Do đó tần số quay n của trục tuabin sẽ bằng:

$$n = \frac{60u}{\pi D} \qquad (15\text{-}19)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Với mục đích tăng tần số quay của tuabin, người ta có xu thế giảm D, tức là tăng hệ số tỉ tốc của tuabin. Điều đó cho phép giảm được trọng lượng và kích thước của máy phát. Tuy nhiên chỉ cho phép giảm đến một giới hạn nhất định, vì càng giảm đường kính hoặc chính xác hơn, càng giảm tỉ số D/d_1, trong đó d_1 - đường kính luồng, sẽ làm giảm hiệu suất tuabin. Thường lấy trị số nhỏ nhất của D/d1 đối với bánh xe đúc bằng 7 - 8, còn đối với bánh xe có gáo lắp ráp bằng 10.12.

Quan hệ giữa hệ số tỉ tốc của tuabin gáo và số lượng vòi phun phải như trên bảng 15.7. Cần lưu ý, tại các giá trị biên của hệ số tỉ tốc, hiệu suất của tuabin giảm xuống.

Bảng 15.7. Các giá trị hiệu suất ước tính của tuabin gáo phụ thuộc vào hệ số tỉ tốc đối với một vòi phun

Hệ số tỉ tốc n_{s1} (tính cho một vòi phun)	Công suất tuabin %			
	100	75	50	25
6	84,5	85,5	85,5	81
10	86,5	87,5	87,5	83
14	87,5	88,5	88,5	84
18	86,5	87,5	87,5	83
22	85	86	86	82
26	83	84	84	80,5
28	81	82,5	83	79,5
32	77,5	79,5	80	77,5

Ghi chú: *Nếu tuabin hai vòi phun, thì với một vòi* $n_{s1} = \frac{n_s}{\sqrt{2}}$

Ví dụ: Chọn tuabin gáo, cho cột nước tính toán H = 450m, công suất N = 20000kW.

Giải:

1. Xét phương án tuabin với một vòi phun. Theo bảng 15.7 ta lấy giá trị n_{s1} = 18 v/phút, ở đây hiệu suất tương đối cao. Trong trường hợp này $n_{s1} = n_s$. Theo công thức (15-7) ta tìm:

$$n = \frac{n_s H \sqrt[4]{H}}{\sqrt{1,36N}} = 18.450 \sqrt{\frac{\sqrt{450}}{1,36.20000}} = 226 \text{ v/phút}$$

nếu tuabin bốn vòi phun (với một hoặc hai bánh xe công tác thì với một vòi $n_{s1} = \frac{n_s}{2}$;

trong đó: n_s - hệ số tỉ tốc của tuabin theo (15-7).

Tần số quay tương đối nhỏ. Các kích thước của tuabin và máy phát sẽ tương đối lớn. Tăng tần số quay bằng cách tăng n_{s1} sẽ không lợi vì dẫn đến giảm hiệu suất

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

(nếu lấy n_{s1} = 28 thì theo các số liệu trong bảng 15.7 hiệu suất giảm đi 5,5%). Ta dùng tuabin bốn vòi phun với trị số n_{s1} = 18 v/phút. Khi đó $n_s = 2n_{s1}$ = 36 và do đó n = 450 v/phút. Đối với máy phát thủy lực có thể lấy tần số quay gần nhất bằng 428,6 v/phút (p = 14). Về kết cấu đấy có thể là tuabin trục đứng với một bánh xe công tác và bốn vòi phun hoặc tuabin trục ngang với hai bánh xe công tác và hai vòi phun trên mỗi bánh xe.

2. Ta xác định các kích thước tuabin. Lưu lượng chảy qua tuabin được xác định theo (15-2'). Trị số hiệu suất khi phụ tải bằng 100% lấy theo bảng 15.6 bằng 86,5%

$$Q = \frac{N}{9,81H\eta} = \frac{20000}{9,81.450.0,865} = 5,25 \ m^3/s$$

Lưu lượng cho một vòi phun 5,25.4 = 1,31 m^3/s.

Vận tốc luồng trước khi vào cánh công tác được xác định bằng công thức (15-17)

$$v_1 = 0,97\sqrt{2.9,81.450} = 91 \ m/s$$

Diện tích mặt cắt luồng $F_1 = Q/v_1 = 1,31 : 91 = 0,0144m^2$.

Đường kính của luồng $d_1 = 0,154m$; đường kính vòi phun d = 1,1, $d_1 = 0,17m$.

Có thể xác định đường kính bánh xe công tác từ các nhận xét sau. Trị số tối ưu của vận tốc vòng, tính theo công thức (15-18) phải bằng:

$$u = 0,45\sqrt{2gH} = 0,45\sqrt{2.9,81.450} = 42,3 \ m/s$$

Vì tần số quay ta lấy bằng 428,6 v/phút, nên theo công thức (15-19) ta sẽ có:

$$D = \frac{60.42,3}{3,14.428,6} = 1,9m$$

Đường kính ngoài của bánh xe lấy ước lượng bằng: 1,9 + 2,7d = 1,9 + 2,7.0,17 = 2,36m. Trên cơ sở các kích thước đó có thể chọn gần đúng các kích thước của tuabin.

15.2. MÁY BƠM CÁNH

Các chỉ tiêu cơ bản của một thiết bị bơm (hình 15-19a) là:

Cột nước tĩnh hoặc cột nước hình học H_t - độ chênh mực nước giữa bể chứa thượng và hạ lưu

$$H_t = \blacktriangledown TL - \blacktriangledown HL \qquad (15\text{-}20)$$

Nếu thiết bị bơm làm việc trong các điều kiện áp suất trên mặt thoáng chất lỏng ở hạ lưu p_{HL} và thượng lưu bể chứa p_{TL} khác nhau, thì cột nước tĩnh bằng:

$$H_t = \blacktriangledown TL - \blacktriangledown HL + \frac{p_{TL} - p_{HL}}{\gamma} \qquad (15\text{-}20')$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

trong đó: γ - trọng lượng riêng của chất lỏng được bơm.

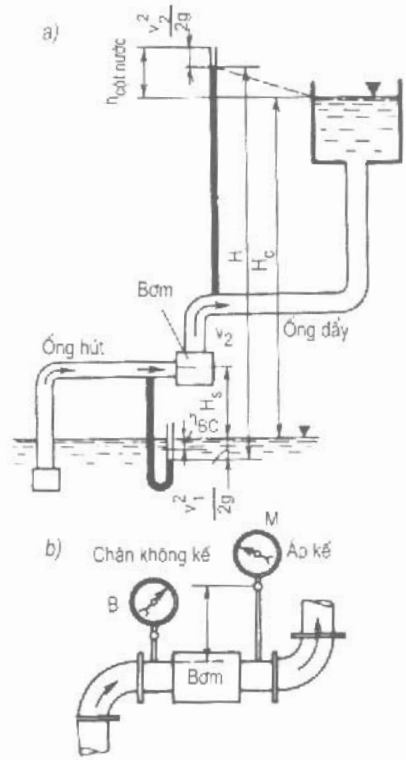
Cột nước H - độ chênh tỉ năng của chất lỏng trong đoạn ống có áp (ra) và trong ống vào của máy bơm:

$$H = H_t + h_w \qquad (15\text{-}21)$$

trong đó: h_w - tổn thất thủy lực tổng cộng (cục bộ và chiều dài) ở trong ống hút và đẩy $h_w = h_h + h_d$.

Để xác định trị số cột nước ta nối vào ống đẩy một áp kế, còn với ống hút một chân không kế (khi bơm không phải làm việc dưới cột nước và áp suất trong ống hút thấp hơn khí trời; còn trong trường hợp ngược lại, tại ống hút cũng đặt áp kế).

Nếu số đọc trên áp kế là M mét cột nước của chất lỏng được bơm, còn chân không kế B mét cột nước của chất lỏng được bơm (hình 15.29b), thì trị số cột nước được xác định bằng biểu thức sau:



Hình 15.29: *Sơ đồ thiết bị bơm*

$$H = M + B + z + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \qquad (15\text{-}21')$$

trong đó: z - độ chênh cao trình đặt áp kế và điểm nối chân không kế (z dương, nếu áp kế đặt cao hơn).

Vì trong các thiết bị bơm, về nguyên tắc, đại lượng $\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}$ là rất nhỏ, nên cột nước thực tế được xem là:

$$H = M + B + z \quad (m) \qquad (15\text{-}21'')$$

Công suất trên trục bơm được xác định bằng công thức sau đây:

$$N = \frac{\gamma Q H}{102\eta} \qquad (15\text{-}22)$$

trong đó:

γ - trọng lượng thể tích của chất lỏng được bơm (kG/m^3);

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

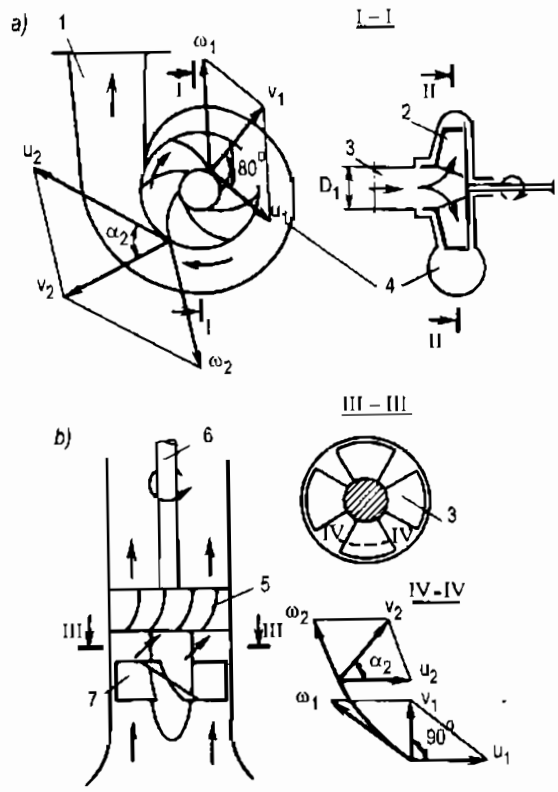
Q - lưu lượng (năng suất) của máy bơm, tức là lưu lượng của chất lỏng mà máy bơm vận chuyển (m^3/s; l/s);

H - cột nước (m) của chất lỏng được bơm;

η - hiệu suất toàn phần của máy bơm có xét đến các tổn thất thủy lực, tổn thất cơ học và tổn thất thể tích trong máy bơm.

Quá trình làm việc của máy bơm li tâm và chân vịt[1] được trình bày trên hình 15.30. Trong máy bơm li tâm, tại chỗ vào các cánh công tác, vận tốc tuyệt đối của chất lỏng v_1 có phương gần như hướng tâm. Có thể vẽ hình bình hành của vận tốc vào, nếu phân vận tốc v_1 ra các thành phần: vận tốc theo $u_1 = \pi D_1 n/60$ và vận tốc tương đối w_1. Ở mép ra của bánh xe công tác, vận tốc tuyệt đối v_2 được xác định bằng cách vẽ hình bình hành theo vận tốc tương đối w_2 và vận tốc theo $u_2 = \pi D_2 n/60$.

Trong các máy bơm chân vịt, nước đi vào bánh xe công tác theo hướng trục. Ở chỗ vào của bánh xe công tác, vận tốc v_1 hướng song song với trục, còn ở chỗ ra khỏi bánh xe công tác, vận tốc v_2 hướng theo phương làm với trục một góc α_2 (chất lỏng quay xung quanh trục và đồng thời lại dịch chuyển song song với trục). Để khử dòng xoắn và hướng cho chất lỏng di chuyển song song với trục, người ta đặt thêm thiết bị hướng nước ở sau bánh xe công tác.



Hình 15.30: *Sơ đồ nguyên lí của bơm li tâm và bơm trục và các hình bình hành vận tốc*
a) Sơ đồ bơm li tâm; b) Sơ đồ bơm chân vịt (trục). 1. Đoạn ống có áp; 2. Bánh xe công tác; 3. Đoạn ống vào; 4. Buồng xoắn; 5. Thiết bị hướng nước; 6. Trục; 7. Cánh của bánh xe công tác.

[1] Cần chi tiết hơn về máy bơm, xem Lômakin A. A. Máy bơm li tâm và hướng trục, "Cơ khí chế tạo", 1966. Serxchuk A. N. Máy bơm và quạt máy nén, "Đại học", 1972 Tsernhiaep I. A. Máy bơm cánh, "Cơ khí chế tạo", 1973, Kripsencô. G. I. Máy thủy lực, "Năng lượng", 1978.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Quan hệ giữa trị số năng lượng do một kG chất lỏng đi qua máy bơm cung cấp, cột nước H và các hình bình hành vận tốc được biểu thị bằng phương trình cơ bản của máy bơm cánh là phương trình Ơle:

$$\frac{H}{\eta_{tl}} = \frac{u_2 v_2 \cos\alpha_2 - u_1 v_1 \cos\alpha_1}{g}$$

trong đó: η_1 - hiệu suất thủy lực của máy bơm;

g - gia tốc rơi tự do.

Với lưu số vận tốc Γ xác định theo công thức (15-3a), phương trình Ơle được viết dưới dạng:

$$\frac{H}{\eta_{tl}} = \frac{\omega}{2\pi g}(\Gamma_2 - \Gamma_1)$$

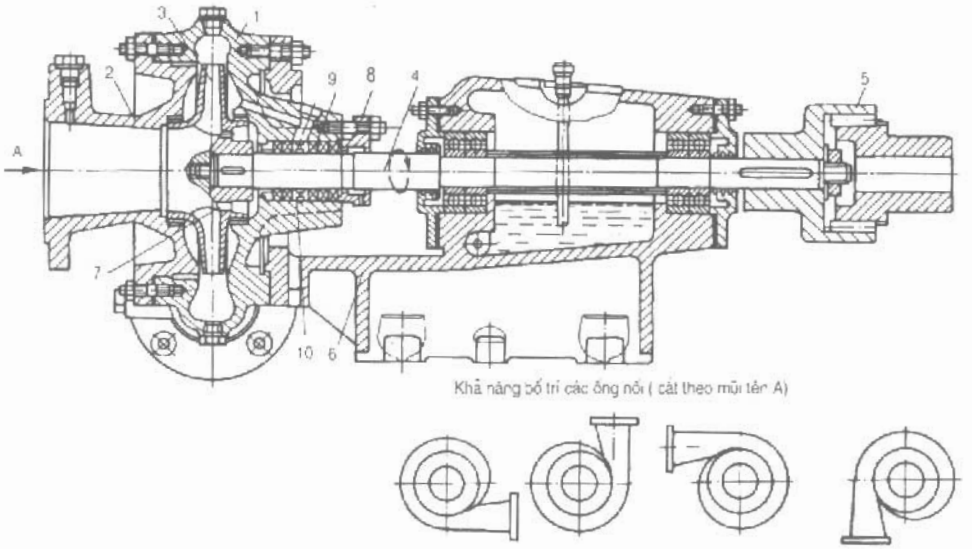
trong đó: ω - vận tốc góc quay của bánh xe công tác (*l*/s);

Γ_2 và Γ_1 - lần lượt là lưu số dòng chảy sau và trước bánh xe công tác.

Vì trước chỗ vào bánh xe $\Gamma_1 \approx 0$, nên cột nước do máy bơm tạo nên được xác định cơ bản là qua Γ_2 - lưu số ra:

$$\frac{H}{\eta_{tl}} = \frac{\omega}{2\pi g}\Gamma_2$$

Chế độ làm việc tối ưu của máy bơm mà hiệu suất có trị số lớn nhất, được xác định bằng các điều kiện vào không va đập. Ở đây phương của vận tốc tương đối phải trùng với phương của tiếp tuyến với mép vào của cánh công tác.



Hình 15.31: *Máy bơm công sôn (kiểu K)*

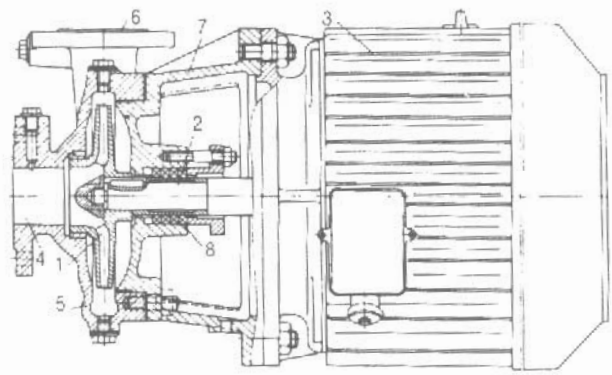
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

• *Kết cấu của máy bơm*

1. *Máy bơm công sôn* kiểu K (hình 15.31) gồm vỏ đúc 1 với buồng xoắn và đoạn ống nối có áp, nắp 2 tháo lắp được với đầu nối vào ống hút, bánh xe công tác 3 gắn chắc vào trục 4; trục này được nối gián tiếp với trục của động cơ điện bằng ổ liên hợp 5. Trục có ổ bi và vỏ bơm 1 được gắn chắc vào bệ 6. Đường vòng sau của nhiều máy bơm còn có một số lỗ giảm áp 7 để giảm lực truyền dọc trục đến trục. Trục được giữ kín bằng vòng đệm chống rò. Vòng đó gồm vỏ, nắp 8, đệm nén 9 và vòng chống rò thủy lực 10. Đoạn nối ống hút của các máy bơm kiểu công sôn luôn luôn được đặt nằm ngang, còn vị trí của đoạn ống nối có áp có thể có nhiều loại khác nhau.

2. *Máy bơm nhiều khối* kiểu KM (hình 15.32) khác với loại công sôn về cấu tạo. Trong các máy bơm nhiều khối, bánh xe công tác 1 được lắp ngay trên đầu mút trục 2 của mặt bích động cơ điện 3. Đoạn ống vào 4, buồng xoắn 5 và đoạn ống có áp 6 được chế tạo dưới dạng đúc liền khối và được nối gián tiếp với mặt bích động cơ điện qua tấm đệm 7 bằng bulông. Máy bơm được gắn vào móng máy chỉ qua các chân của động cơ điện. Vòng đệm chống rò 8 thường đơn giản, không có chèn thủy lực. Ưu việt của máy bơm nhiều khối là gọn, kích thước và trọng lượng bé, không có ổ liên hợp, nhưng người ta chỉ chế tạo được các loại bơm này với kích thước không lớn lắm.



Hình 15.32: *Máy bơm công sôn nhiều khối (kiểu KM)*

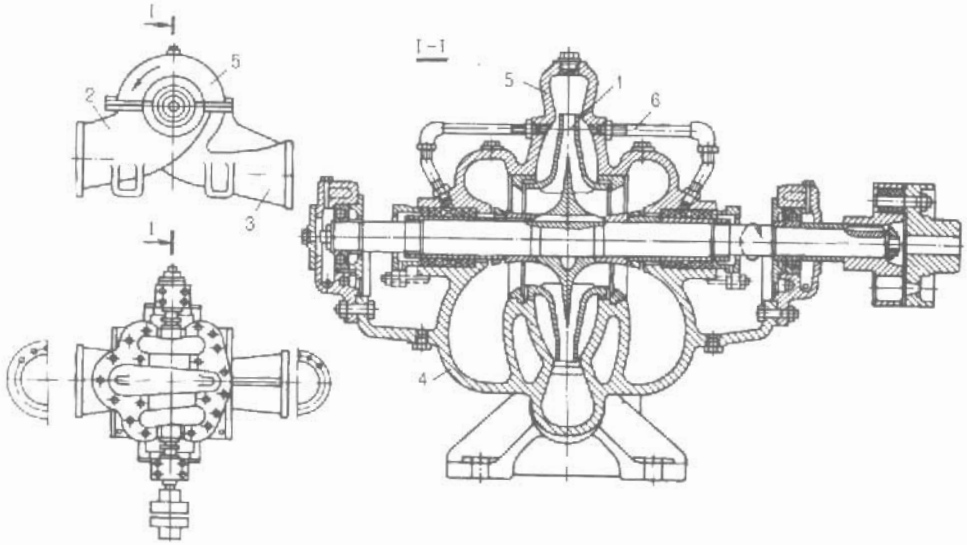
3. *Máy bơm vào hai bên* kiểu Д (hình 15.33) có bánh xe công tác kép 1. Nước được dẫn vào máy bơm theo đoạn ống hút 2, nước được dẫn ra theo đoạn ống có áp 3 được đúc cùng với vỏ máy bơm 4. Nắp 5 của máy bơm tháo lắp được. Nước được dẫn đến các vòng chống rò thủy lực theo các ống 6. Máy bơm này có bánh xe công tác cân bằng và với cùng một kích thước có thể cho lưu lượng lớn gấp hai lần máy bơm đơn kiểu công sôn.

4. *Máy bơm li tâm trục đứng* kiểu B (hình 15.34) được dùng khi cần vận chuyển một lưu lượng rất lớn và với cột nước cao. Bánh xe công tác 1 lắp trên trục đứng 2. Trục này được nối với trục của động cơ điện trục đứng bằng liên hợp mặt bích 3. Trong vỏ bơm chỉ có ổ bi hướng tâm 4, còn lực trục được truyền đến ổ bi của động cơ điện. Nước được dẫn vào bánh xe công tác từ phía dưới bằng đoạn ống hình nón 5 và

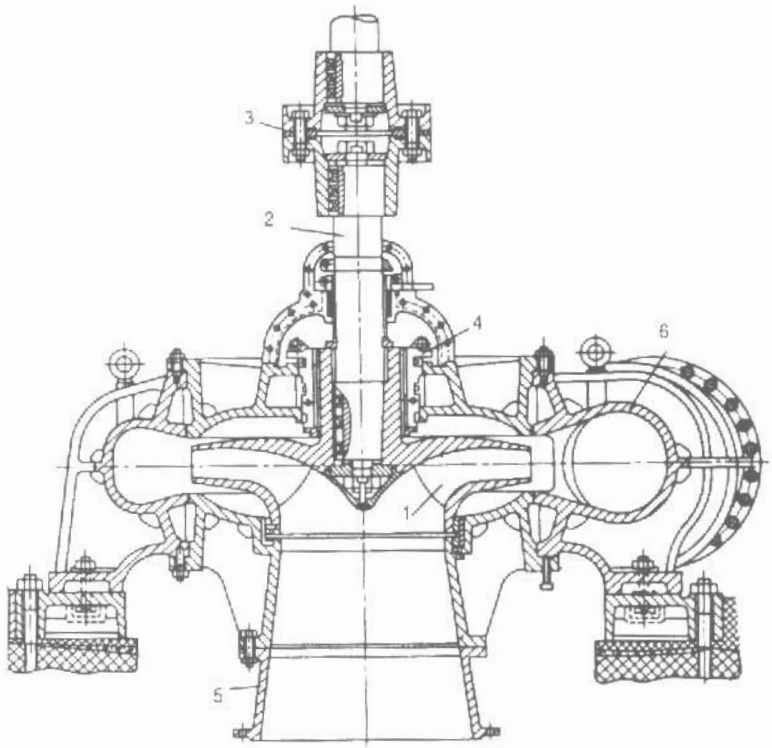
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

xả vào buồng xoắn 6. Buồng xoắn này có các đường gân và các chân rất khỏe để nối máy với móng.



Hình 15.33: Máy bơm vào hai bên (kiểu J)

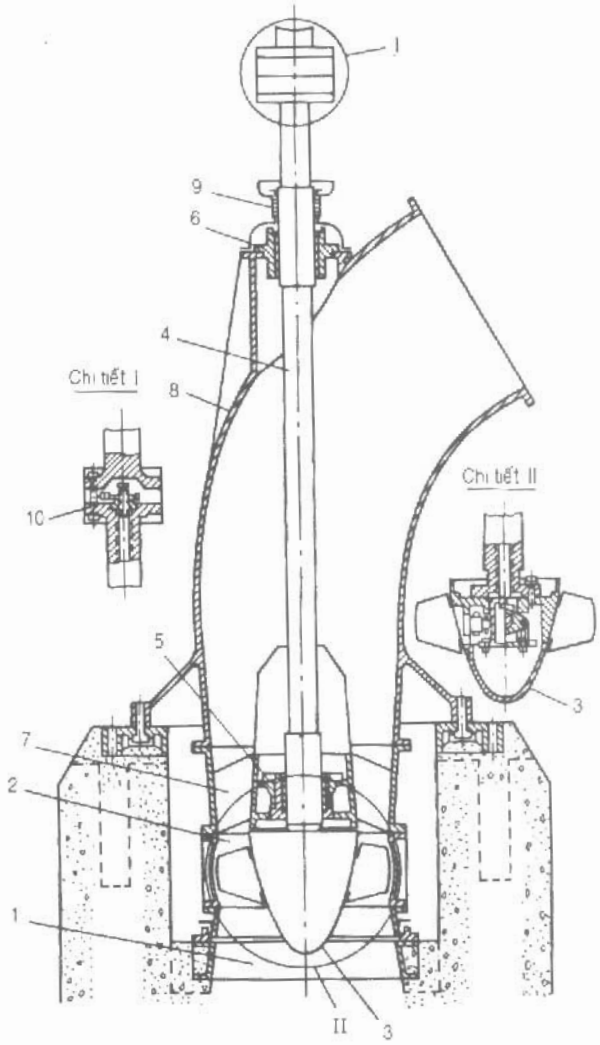


Hình 15.34: Máy bơm li tâm trục đứng (kiểu B)

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

5. *Máy bơm trục (chân vịt "O" và cánh quay "OII")* (hình 15.35) được dùng khi cần dẫn một lưu lượng rất lớn mà cột nước tương đối nhỏ. Bánh xe công tác 2 với nắp chảy bao vào 3 được gắn chặt trên trục 4. Các ổ bi định hướng của máy bơm cùng với vòng đệm kim loại 5 và 6 và nước bôi trơn thường được gắn ở phần giữa của các bộ phận thiết bị hướng nước 7 và ở vỏ của khuỷu 8. Ở phía trên ổ bi trên có đặt vật chống rò 9. Trục máy bơm được nối gián tiếp với trục động cơ điện qua ổ liên hợp 10. Nước được dẫn đến bánh xe công tác qua đoạn ống mở rộng hoặc ống hút 1.



Hình 15.35: *Máy bơm hướng trục (cánh quay) (kiểu OII)*

Máy bơm cánh quay khác với máy bơm chân vịt là có thể thay đổi góc các cánh của bánh xe (quay được). Nhờ vậy mà cải thiện được điều kiện chính máy bơm theo lưu lượng và cột nước để làm tăng hiệu suất của nó. Bộ phận cơ học để quay được đặt trong ống lót và được nối gián tiếp với bộ phận truyền động bằng một cần đi qua trục rỗng.

6. *Máy bơm giếng sâu có trục truyền động đặc biệt* được đặt trong các giếng sâu và dùng để cấp nước, tưới nước và hạ mực nước ngầm.

Loại bơm này (hình 15.36) là một tổ máy gồm bản thân bơm có lưới vào 1, trục truyền động 2 đi từ máy bơm đến miệng giếng và phần bệ đỡ cùng với động cơ điện (thẳng đứng, ghép bằng mặt bích) được đặt trên miệng giếng.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

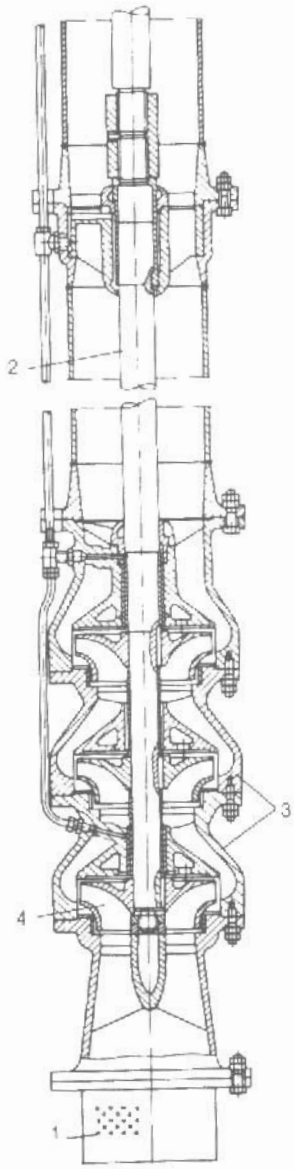
Máy bơm gồm một số phân đoạn, mỗi phân đoạn gồm có vỏ bơm 3 và bánh xe công tác 4. Có thể lắp máy bơm với các số lượng phân đoạn khác nhau (bánh xe công tác). Cột nước càng tăng thì số phân đoạn càng lớn (trên hình 15.36 trình bày máy bơm ba phân đoạn).

Máy bơm giếng sâu có động cơ điện bị ngập (ЭЦВ) khác với loại trên là động cơ điện dùng để dẫn động đặt ngập trong nước với mục đích là để tránh thiết bị truyền động dài.

7. *Máy bơm nhiều cấp* được dùng trong trường hợp cần có các trị số lớn về cột nước. Nguyên lí cấu tạo của nó là nối liên tiếp nhiều máy bơm (phân đoạn) thành một tổ máy.

8. *Máy bơm bùn (máy hút bùn)* (hình 15.37)

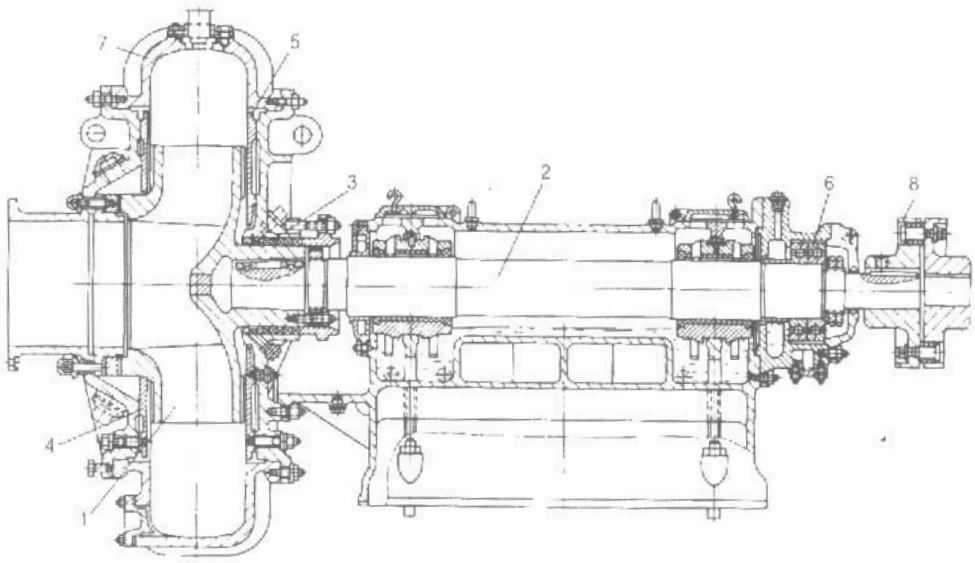
Về cấu tạo và nguyên lí tác dụng thì máy hút bùn tương tự như máy bơm kiểu côngsôn. Đặc điểm cấu tạo cơ bản của chúng là cần phải bảo vệ các bộ phận làm việc khỏi bị ăn mòn và bảo đảm cho những hòn đá tảng tương đối lớn có thể đi qua. Bánh xe công tác 1 làm bằng thép đúc có số cánh làm việc không lớn (2 - 4). Để bảo vệ cho trục 2 khỏi bị mòn, vật chống rò 3 đặt ở chỗ vươn ra của bánh xe công tác. Ngoài ra để giữ cho cát khỏi rơi vào vật chống rò, ta dẫn nước sạch vào vòng 4 theo một ống có áp suất cao hơn cột nước của máy bơm bùn. Để bảo vệ cho vỏ máy bơm bùn khỏi bị mòn ta đặt các đĩa bằng đồng thau thay được 5 và 6. Lực dọc trục tác dụng lên trục được truyền qua ổ bi 6 đến vỏ máy 7. Để nối trực tiếp với trục của động cơ điện người ta dùng ống nối đàn hồi 8.



Hình 15.36: *Máy bơm giếng sâu có trụ truyền động đặc biệt (ba cấp)*

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 15.37: *Máy bơm bùn (máy hút bùn)*

Việc tính toán lại các thông số làm việc của máy bơm khi thay đổi tần số quay và giữ chế độ làm việc, được tiến hành theo các công thức sau:

$$\frac{Q_1}{Q_2}=\frac{n_1}{n_2};\ \frac{H_1}{H_2}=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2;\ \frac{N_1}{N_2}=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \qquad (15\text{-}23)$$

Nếu đồng thời thay đổi cả tần số quay và đường kính bánh xe công tác, nhưng vẫn giữ nguyên sự tương tự hình học của phần dẫn nước của máy bơm (chủ yếu là bánh xe công tác), thì lưu lượng cột nước và công suất của chế độ làm việc đã định sẽ được xác định theo các quan hệ sau đây:

$$\frac{Q_1}{Q_2}=\frac{n_1}{n_2}\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3;\ \frac{H_1}{H_2}=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2;\ \frac{N_1}{N_2}=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^5 \qquad (15\text{-}23')$$

Hệ số tỉ tốc (n_s) của các máy bơm là số vòng quay của một máy bơm tương tự hình học với máy bơm đang xét, nhưng có trị số đường kính sao cho với số vòng quay đó máy bơm cho lượng cấp nước là 75 *l*/s với cột nước bằng 1m, tức là trong trường hợp bơm nước thì truyền cho nước một công suất bằng 1 mã lực. Đối với một máy bơm cho trước, đại lượng n_s được xác định theo công thức:

$$n_s=3{,}65\frac{n\sqrt{Q}}{H^{3/4}} \qquad (15\text{-}24)$$

Hệ số tỉ tốc thường tính cho một bánh xe, vì vậy đối với máy bơm vào hai bên thì phải thay vào công thức (15-24) một nửa lượng cấp nước thực. Đối với máy bơm

https://tieulun.hopto.org

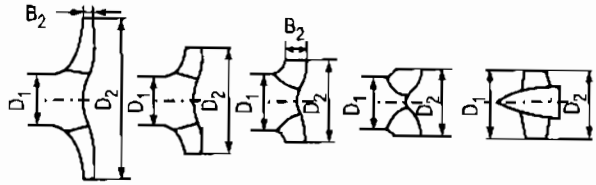
www.thuvien247.net

nhiều cấp mà các bánh xe công tác đều như nhau, phải thay vào công thức (15-24) cột nước đã chia cho số cấp.

Khi muốn có cột nước lớn với lưu lượng tương đối nhỏ, người ta dùng máy bơm có tỉ tốc thấp ($n_s = 60 \div 80$). Khi muốn có lưu lượng lớn với cột nước tương đối nhỏ (bơm hướng trục) người ta dùng máy bơm quay nhanh nhất ($n_s = 800 \div 1000$).

Hệ số tỉ tốc n_s là yếu tố quan trọng quyết định hình dạng của bánh xe công tác máy bơm. Như trên hình 15.38, khi n_s tăng lên, thì tỉ số D_2/D_1 sẽ giảm xuống, còn chiều cao bánh xe công tác B_2 sẽ tăng lên.

n_s	60 - 80	80 - 120	120 - 240	240 - 350	400 - 800
D_2/D_1	3,0 - 2,4	2,4 - 1,8	1,8 - 1,3	1,3 - 1,1	1,0



Hình 15.38: *Sự thay đổi hình dạng của bánh xe công tác tùy thuộc vào hệ số tỉ tốc*

Sự xâm thực trong các máy bơm xuất hiện trong các điều kiện khi áp suất trong dòng chảy hạ xuống bằng áp suất bão hòa hơi nước của chất lỏng được bơm. Trong xâm thực xuất hiện tiếng ồn mạnh và gắt, rung động lớn, hiệu suất giảm và có thể làm cho bánh xe công tác mòn rất nhanh. Để tránh hiện tượng xâm thực cần hạn chế chiều cao hút H_s của máy bơm (hình 15.29). Để xác định chiều cao hút cho phép người ta dùng một trong hai chỉ tiêu xâm thực đã được xác định bằng con đường thực nghiệm và được ghi trên các đường đặc trưng của máy bơm là:

a) Độ chân không cho phép tại đoạn ống vào (chiều cao hút chân không) H_{ck}^{cp} (m);

b) Độ dự trữ xâm thực Δh.

H_{ck}^{cp} ứng với áp suất khí quyển bình thường $(p_{atm}/\gamma)_{bt}$ = 760mm cột thủy ngân hoặc 10,3m cột nước. Chiều cao hút cho phép H_s được xác định theo công thức:

$$H_s \le H_{ck}^{cp} - \left[\left(\frac{p_{atm}}{\gamma}\right)_{bt} - \frac{p_{atm}}{\gamma}\right] - \left(h_h + \frac{v_1^2}{2g}\right) - \frac{p_{bh}}{\gamma} \qquad (15\text{-}25)$$

trong đó: p_{atm}/γ - áp suất khí trời thực tế tùy thuộc vào cao trình so với mặt biển mà có thể bé hơn hoặc lớn hơn $(p_{atm}/\gamma)_{bt}$ và có thể xem gần đúng bằng:

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$\left(\frac{p_{atm}}{\gamma}\right)_{ht} = \frac{p_{atm}}{\gamma} = \frac{\blacktriangledown}{900}$$

trong đó:

$\blacktriangledown$ - cao trình tuyệt đối của điểm đặt trục máy bơm (so với mặt biển);

h_h - tổn thất trong ống hút;

v_1 - vận tốc trong ống hút (hình 15.29);

p_{bh}/γ - áp suất bão hòa hơi nước của chất lỏng được bơm phụ thuộc vào nhiệt độ của chúng. Đối với nước lạnh có thể lấy $p_{bh}/\gamma \approx 0{,}3$m. Đối với nước nóng có thể dùng các số liệu trong bảng 15.3.

Nếu tần số quay của máy bơm thay đổi từ n_1 đến n_2, thì đối với cùng một chế độ làm việc H_{ck}^{cp} sẽ thay đổi tương ứng theo. Việc tính lại được tiến hành theo công thức:

$$H_{ck\,2}^{cp} = 10 - \left[10 - H_{ck\,1}^{ch}\right]\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \qquad (15\text{-}26)$$

Trong một số trường hợp, đại lượng cho phép của chiều cao hút có thể có giá trị âm ($H_s < 0$). Điều đó chứng tỏ cần phải đặt máy bơm thấp hơn mực nước thấp nhất trong bể chứa.

Độ dự trữ xâm thực Δh là độ dư tỉ năng của chất lỏng tại đoạn ống vào đối với năng lượng được xác định chỉ bằng áp suất bão hòa hơi của chất lỏng:

$$\Delta h = \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} - \frac{p_{bh}}{\gamma}$$

Khi tần số quay thay đổi, thì phải tính lại độ dự trữ xâm thực theo công thức:

$$\Delta h_2 = \Delta h_1 \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2$$

Trị số cho phép của chiều cao hút H_s được xác định bằng biểu thức sau:

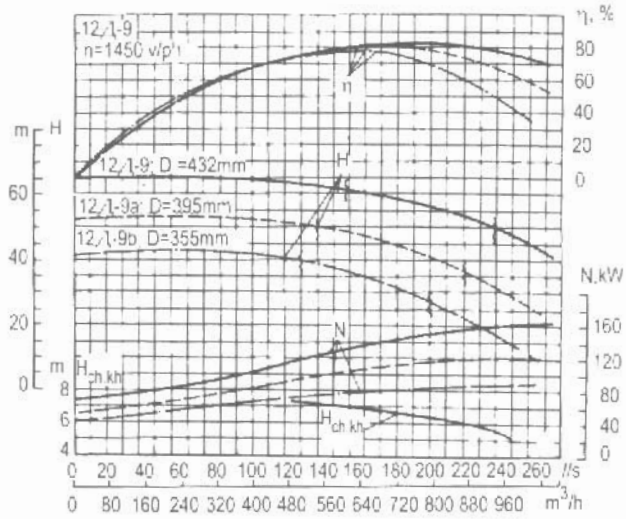
$$H_s \le \frac{p_{atm}}{\gamma} - \Delta h - h_h - \frac{p_{bh}}{\gamma} \qquad (15\text{-}27)$$

Đặc trưng công tác của bơm cánh là hàm số thể hiện mối liên hệ giữa cột nước H_s, hiệu suất η công suất tiêu thụ N và chiều cao hút chân không cho phép H_{ck}^{cp} hoặc độ dự trữ xâm thực Δh với lưu lượng Q khi tần số quay n được giữ cố định. Đặc trưng công tác được vẽ trên các số liệu thí nghiệm. Để làm thí dụ, trên hình 15.39a vẽ các đường đặc trưng của máy bơm li tâm vào hai bên (mã hiệu 12Д-9) với tần số quay n = 1450 v/phút. Trên đường cong H, vùng làm việc được đánh dấu

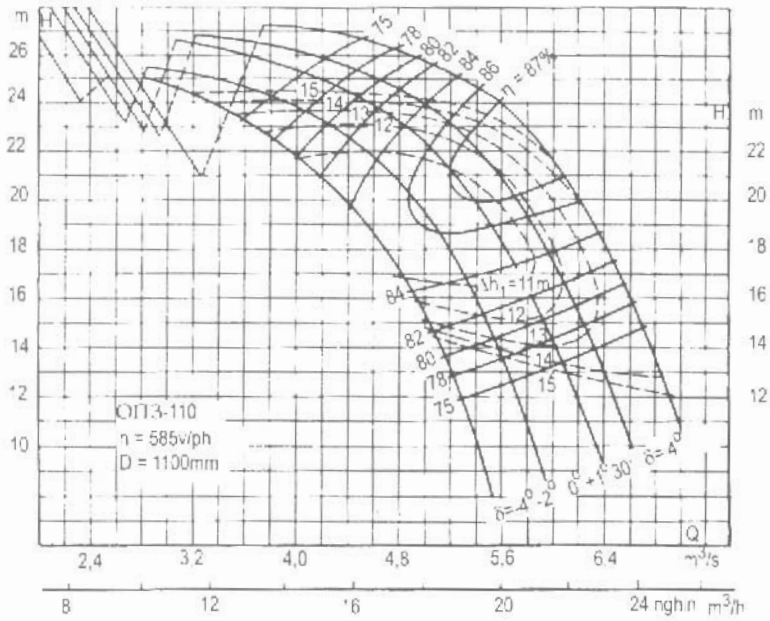
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

bằng các đoạn hình sóng. Đó là vùng được đề nghị dùng cho máy bơm này, vì ở đây có hiệu suất cao nhất. Trên các đường đặc trưng, ngoài các đường liền nét H, η và N ứng với đường kính ngoài của bánh xe là 432mm, còn vẽ cả các đường chấm chấm. Các đường chấm chấm là ứng với bánh xe công tác đã gọt, tức là đường kính ngoài đã bị gọt xuống đến 395mm (cấp gọt thứ nhất được kí hiệu bằng chữ "a"). Người ta gọt bánh xe công tác để mở rộng phạm vi sử dụng máy bơm kiểu đã có, nhưng không được gọt quá 15 - 20% đường kính để hiệu suất không bị giảm quá thấp.



Hình 15.39a: Đặc trưng của máy bơm li tâm



Hình 15.39b: Đặc trưng của máy bơm hướng trục cánh quay

Trên hình 15.39b vẽ các đường đặc trưng của máy bơm hướng trục cánh quay (mã hiệu ОП 3-110) với n = 585 v/phút. Ở đây vẽ các đường đồng hiệu suất (lớn

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

nhất là $\eta = 87\%$), các đường đồng độ dự trữ xâm thực Δh_1 và các đường đồng cột nước với các góc đặt khác nhau của các cánh bánh xe công tác từ $\delta = +4^0$ đến $\delta = -4^0$. Nếu đã biết Q, H và η thì có thể tìm đại lượng công suất dẫn động cần biết theo công thức (15-22).

Nếu số vòng quay của máy bơm không trùng với số vòng quay đã ghi trên các đường đặc trưng, thì phải dùng công thức (15-26) mà tính lại đặc trưng cho số vòng quay mới.

Việc chọn máy bơm được tiến hành theo các trị số cần thiết của lưu lượng Q và cột nước H. Vì lưu lượng của bơm cánh phụ thuộc chặt chẽ vào sự thay đổi của cột nước, nên tốt hơn hết là cho cột nước dưới dạng đường đặc trưng của đường ống (mạng lưới). Đường đặc trưng đó biểu diễn mối quan hệ giữa cột nước cần thiết và lưu lượng Q. Quan hệ này xác định bằng công thức (15-21) và có hai đại lượng quyết định là cột nước tĩnh H_t và tổn thất thủy lực tổng cộng trên mạng lưới h_w. Tổn thất thủy lực phụ thuộc vào chiều dài của đường ống, vào đường kính, vào sự có mặt của sức cản cục bộ. Đối với các điều kiện làm việc thực tế, tổn thất tổng cộng là hệ thức:

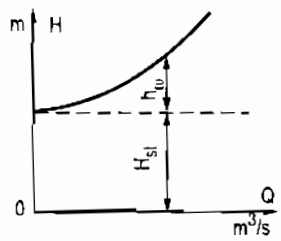
$$h_w = kQ^2$$

trong đó: k - hệ số phụ thuộc vào các kích thước và hình dạng của đường ống. Do đó đặc tính của đường ống được xác định bằng công thức:

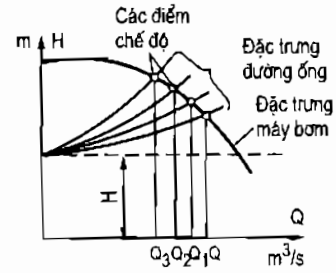
$$H = H_t + kQ^2$$

tức là trong các tọa độ QH, đường quan hệ là đường parabôn, xuất phát từ điểm $H = H_t$ khi $Q = 0$ (hình 15.40).

Lưu lượng thực tế tìm được bằng cách so sánh các đặc trưng của máy bơm và của mạng lưới tại các giao điểm của chúng, như trình bày trên hình 15.41 (lưu lượng Q, Q_1, ... cho các đặc trưng khác nhau của mạng lưới).



Hình 15.40: *Đặc trưng của đường ống (mạng lưới)*



Hình 15.41: *Xác định lưu lượng thực tế bằng cách kết hợp giữa các đặc trưng máy bơm và đường ống*

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Việc chọn máy bơm được xem là đạt yêu cầu, nếu chế độ làm việc (giao điểm) nằm trong phạm vi của vùng đề nghị sử dụng cho máy bơm. Khi so sánh phương án, thì nên chọn phương án tối ưu theo các chỉ tiêu kinh tế - kĩ thuật có xét đến cả giá thành thiết bị, cũng như lưu lượng khai thác.

Việc ghi mã hiệu cho máy bơm sẽ dựa trên các chỉ tiêu quyết định cơ bản. Về nguyên tắc, mã hiệu của máy bơm cho biết hình dạng kết cấu, kích thước đặc trưng, chuẩn số chỉ kiểu.

Hình dạng kết cấu được kí hiệu bằng các chữ: K - dạng côngsôn; KM - côngsôn nhiều khối, Д hoặc НД - vào hai bên, B - trục đứng, 0 hoặc ОП - hướng trục có cánh đặt cố định hoặc quay được. Một vài loại máy bơm, thí dụ máy bơm nhiều cấp không có hệ kí hiệu thống nhất.

Trong nhiều trường hợp, kích thước đặc trưng của máy bơm là đường kính ống vào, nhưng ở trong các trường hợp cụ thể có thể kể cả đường kính của đoạn ống có áp (thí dụ trong máy bơm НД). Trong mã hiệu ta viết đường kính của đoạn ống (mm) được giảm đi 25 lần. Ở các máy bơm hướng trục, kích thước đặc trưng là đường kính của buồng cánh xe công tác (cm).

Hệ số tỉ tốc n_s của bánh xe công tác (một bánh) sau khi giảm đi 10 lần cũng được dùng làm chuẩn số chỉ kiểu. Ở các máy bơm hướng trục, còn có chỉ số chỉ thứ tự của loại máy. Trong các máy bơm nhiều cấp có chỉ số chỉ số cấp.

Các thí dụ về mã hiệu máy bơm:

2K-9 - máy bơm côngsôn với đường kính đoạn ống vào 50mm (2 × 25), hệ số tỉ tốc $n_s = 90$.

32B-12 - máy bơm li tâm trục đứng, đường kính đoạn ống vào 800mm (32 × 25) và hệ số tỉ tốc $n_s = 120$.

05-87 - máy bơm hướng trục (có cánh bánh xe công tác loại gắn cố định), kiểu 5, đường kính của buồng bánh xe công tác 87cm.

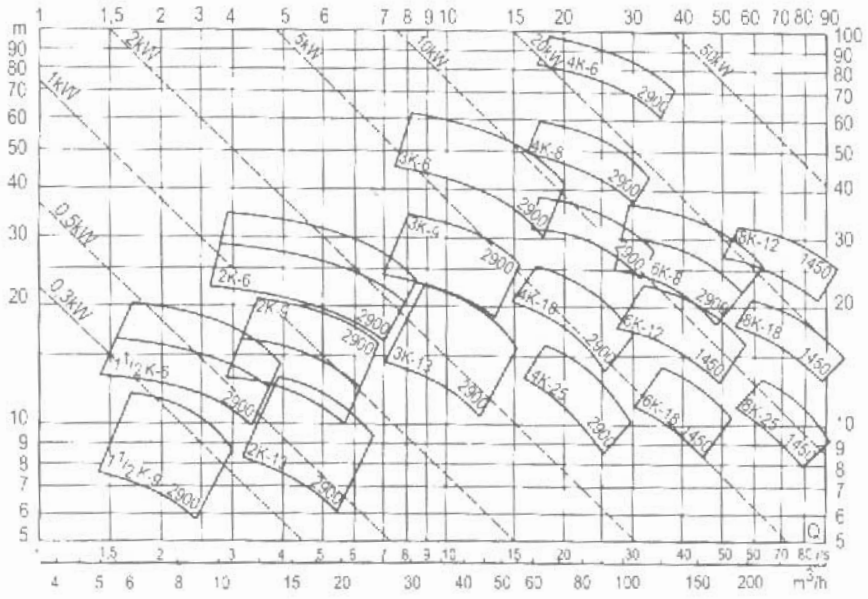
ОП2-110 - máy bơm hướng trục cánh quay, kiểu 2, đường kính của buồng bánh xe 110cm.

Danh mục máy bơm:

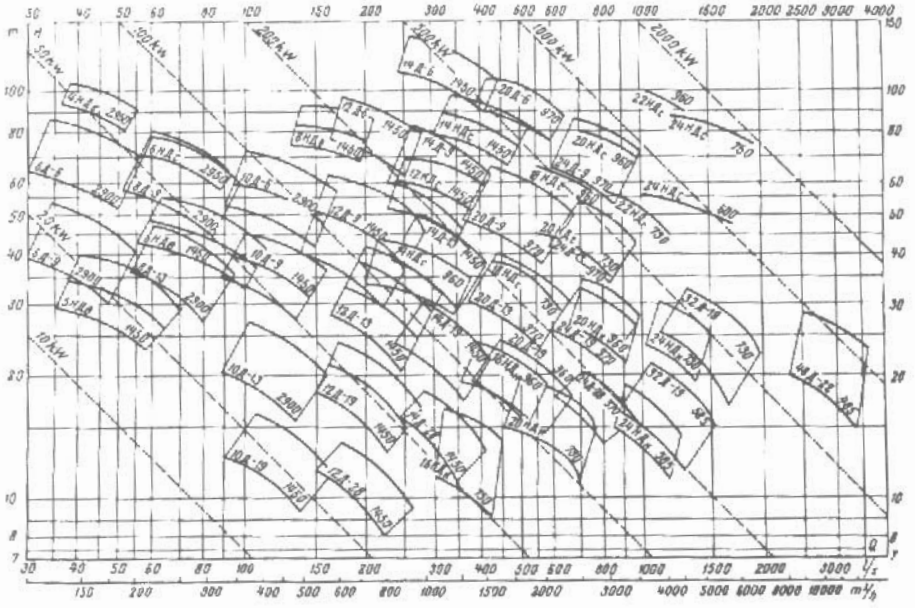
Mỗi kiểu máy bơm (có xét đến việc gọt bánh xe hoặc sự thay đổi góc của cánh) sẽ chiếm một vùng nhất định trong hệ tọa độ Q - H. Trong thực tế người ta sản xuất hàng loạt kiểu máy bơm cùng một dạng nhất định - đó chính là danh mục. Nếu trên mặt phẳng tọa độ Q - H, ta đánh dấu các vùng làm việc của các đặc trưng máy bơm trong dãy danh mục, thì ta sẽ có một hình ảnh rõ ràng về khu vực sử dụng của từng loại máy bơm cụ thể.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 15.42: Danh mục các máy bơm công sôn kiểu K và máy bơm nhiều khối kiểu KM (các thông số đồng nhất) theo OCT 8337-57



Hình 15.43: Danh mục máy bơm vào hai bên kiểu Д và НД

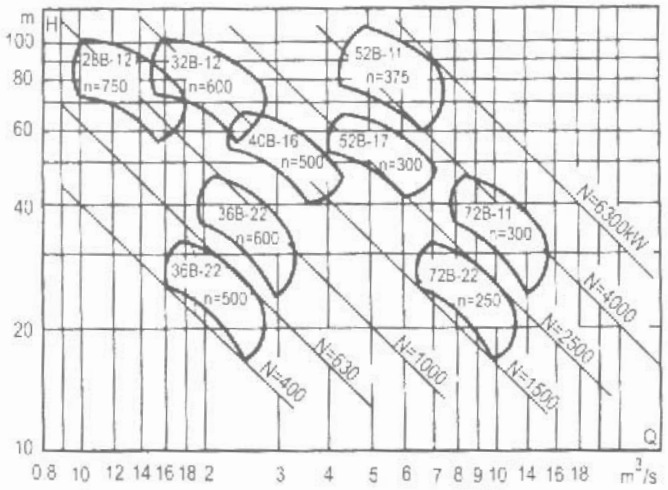
Danh mục của các máy bơm công sôn, máy bơm vào hai bên, máy bơm li tâm trục đứng và hướng trục được ghi trên hình 15.42 ÷ 15.45. Mỗi hình vẽ cho ta một danh mục ghi các vùng sử dụng các máy bơm cùng một kiểu cụ thể trong hệ tọa độ Q và

https://tieulun.hopto.org

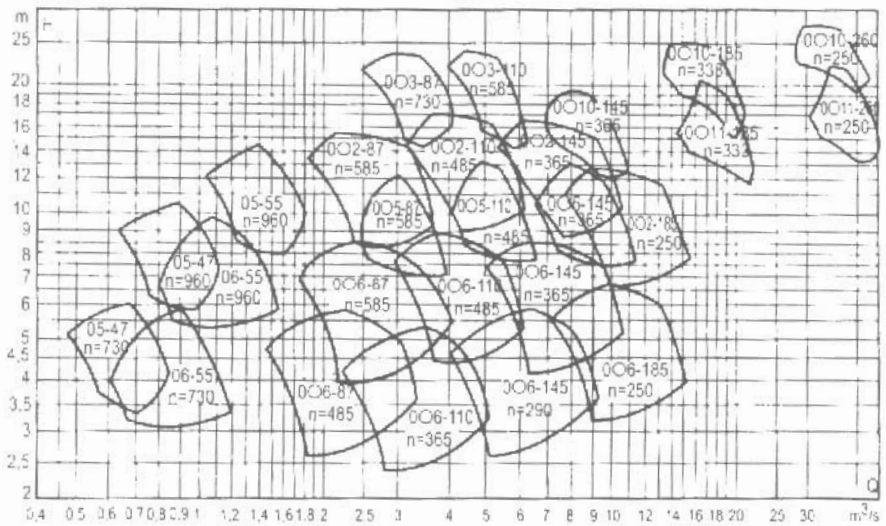
www.thuvien247.net

H. Các vùng này được thể hiện dưới dạng các hình tứ giác cong, trên đó ghi mã hiệu máy bơm và tần số quay. Trên một số danh mục còn ghi các giá trị gần đúng của công suất dẫn động cần thiết của máy bơm (trung bình lấy $\eta = 75\%$).

Có thể dùng các danh mục đã nói để chọn sơ bộ máy bơm. Giả thử cần cung cấp lưu lượng Q = 25 *l*/s với cột nước H = 20m (cột nước tính cộng với tổn thất thủy lực). Theo hình 15.42 ta tìm được máy bơm phù hợp với các điều kiện đó là loại 4K-18 với động cơ điện 2900 v/phút và công suất gần 7kW (bằng nội suy).



Hình 15.44: *Danh mục máy bơm trục đứng kiểu B*

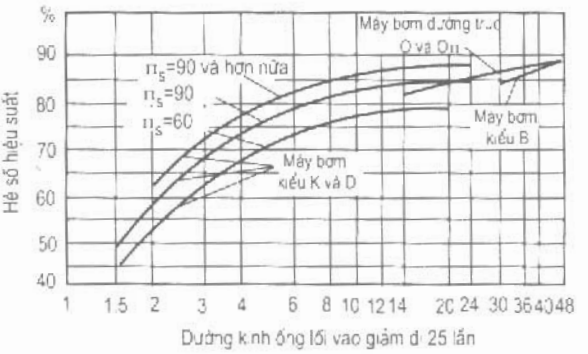


Hình 15.45: *Danh mục máy bơm hướng trục kiểu O và kiểu cánh quay OП*

https://tieulun.hopto.org

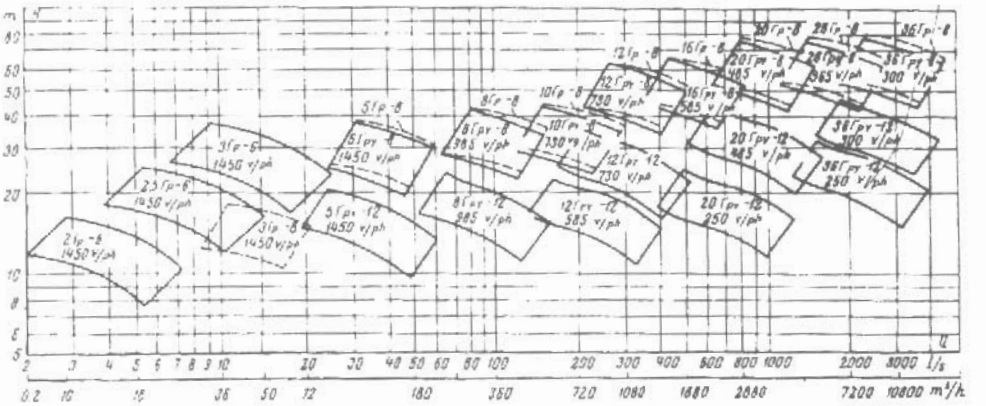
www.thuvien247.net

Cần chú ý là nếu điểm trang thái mà rơi vào phần dưới của tứ giác cong, thì phải dùng bánh xe đã gọt (a hoặc b). Khi tần số quay khác với vòng quay đã nói, thì có thể tính lại lượng cấp nước và cột nước theo các công thức (15-23). Khi xác định công suất động cơ cho máy bơm theo công thức (15-22), có thể lấy đại lượng hiệu suất ước lượng theo hình 15.46.



Hình 15.46: *Các trị số hiệu suất ước lượng của máy bơm*

Trên hình 15.47 ghi danh mục các máy bơm bùn (máy hút bùn) trong đó lưu lượng và cột nước là tương ứng với nước trong. Trong mã hiệu máy bơm bùn có chữ "2Гр-6" hoặc "5Гру -12" (là mở rộng có khả năng cho qua bơm các hòn đá to hơn), con số ở đằng trước là kích thước đoạn ống vào đã giảm đi 25 lần (thí dụ máy 8 có đoạn ống vào 8 × 25 = 200mm), con số cuối cùng là hệ số tỉ tốc đã giảm đi 10 lần ($0,1n_s$). Dòng dưới của mỗi tứ giác cong là ứng với bánh xe công tác đã bị gọt.

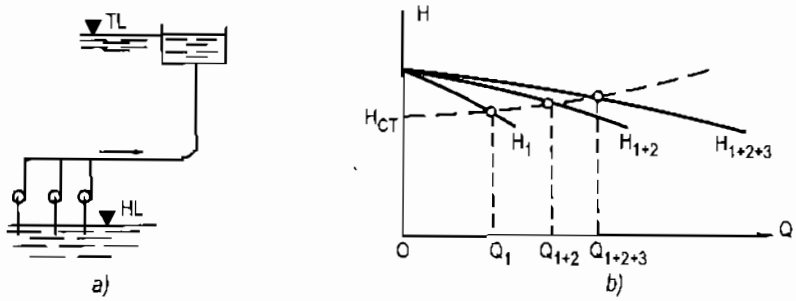


Hình 15.47: *Danh mục máy bơm bùn (máy hút bùn)*

Danh mục của các máy bơm giếng sâu có trục truyền động ЦТВ-ГОСТ 14835-69 và của máy bơm có động cơ chìm ЭЦВ-ГОСТ 10428-71 cho trên hình 14.48 và 14.49. Các kích thước của danh mục cho biết đường kính tối thiểu của giếng. Thí dụ: ЦТВ-8 là máy bơm dùng được cho các giếng với đường kính 8 × 25 = 200mm hoặc lớn hơn. Cần chú ý rằng chiều dài của trục truyền động trong máy bơm ЦТВ không được vượt quá 100m.

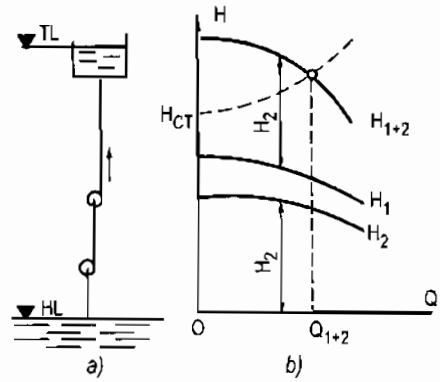
https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net



Hình 15.48

Việc đóng máy bơm cánh, tức là bảo đảm cấp nước vào ống có áp sau khi mở máy, chỉ có thể làm được với điều kiện là ống hút và bánh xe công tác đã chứa đầy chất lỏng (nước), tất cả không khí đã thoát ra khỏi chúng. Có thể khởi động máy bơm cánh bằng một vài phương pháp sau đây:



Hình 15.49

a) Đặt máy bơm thấp hơn mực nước trong hồ chứa hạ lưu ($H < 0$). Các máy bơm hướng trục thường đặt như vậy, các máy bơm li tâm trục đứng cũng hay đặt như vậy. Trong trường hợp này để khởi động máy chỉ cần đóng hệ truyền động.

b) Mồi nước trước vào máy bơm, tức là trước khi đóng động cơ phải đổ đầy nước vào đường hút và buồng bánh xe công tác của máy bơm (đổ bằng tay qua phễu hoặc bằng ống dẫn đặc biệt). Để nước không chảy mất, ở cuối ống hút đặt một van ngược, van này đóng khi nước chảy ngược chiều.

c) Dùng máy bơm chân không kiểu tuần hoàn hoặc kiểu phun mà bơm nước vào ống hút và vào buồng bánh xe công tác. Quá trình đóng máy bơm được tiến hành như sau: đầu tiên đóng máy bơm chân không và để máy này làm việc cho đến khi đã dồn hết không khí ra ngoài và nước bắt đầu phun ra. Sau đó mới đóng động cơ của máy bơm và mở khóa ở trên ống có áp. Phương pháp khởi động này được sử dụng trong các trạm bơm cố định cỡ lớn và trong các máy hút bùn.

Việc điều chỉnh lưu lượng của bơm cánh thường được tiến hành bằng phương pháp tiết lưu. Ở đây có thể giảm lưu lượng bằng cách đóng khóa, tức là tạo nên một sức cản bổ sung để làm thay đổi đặc trưng của đường ống. Có thể theo dõi quá trình đó như trên hình 15.41. Nếu đường cong dưới là ứng với độ mở tối đa của khóa và lưu lượng bằng Q, thì khi giảm độ mở của khóa, đường đặc trưng của đường ống sẽ

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

dịch chuyển lên phía trên, còn lưu lượng sẽ giảm xuống (Q_1, Q_2, ...). Khi đóng khóa hoàn toàn, lưu lượng sẽ bằng không. Có thể điều chỉnh lưu lượng máy bơm cánh bằng cách thay đổi tần số quay của nó. Trong trường hợp này, đặc trưng của máy bơm vẽ trong tọa độ Q, H sẽ dịch chuyển theo (15-23), làm cho giao điểm của nó với đặc trưng của đường ống thay đổi theo. Theo các chỉ tiêu về năng lượng thì phương pháp điều chỉnh lưu lượng này có lợi hơn phương pháp tiết lưu, nhưng trong thực tế lại rất khó thực hiện đối với động cơ điện dị bộ.

Nối máy bơm song song vào một đường ống chung (hình 15.48a) thường được sử dụng để tạo lưu lượng lớn. Để xác định lưu lượng chung của một số máy bơm làm việc song song, ta vẽ đặc trưng tổng của chúng. Nếu các máy bơm là như nhau, thì đặc trưng tổng sẽ gấp hai, gấp ba... hoành độ Q của đường đặc trưng của một máy bơm, như trình bày trên hình 15.48b (H_1, H_{1+2}, H_{1+2+3}). Lưu lượng thực tế được xác định bằng giao điểm của đường đặc trưng tổng của các máy bơm với đường đặc trưng của đường ống, xuất phát từ điểm H_1 khi Q = 0. Như ta thấy, lưu lượng thực tế Q_{1+2}, Q_{1+2+3} sẽ tăng lên, nhưng bé hơn 2, 3 lần v.v... Có thể giải thích được điều đó bằng độ dốc của đường đặc trưng đường ống. Đường đặc trưng đó càng dốc thì hiệu quả nối song song của các máy bơm càng kém. Nếu ta ghép song song các máy bơm kiểu khác nhau, thì cần chọn các máy có cột nước làm việc gần như nhau.

Nối máy bơm liên tiếp (hình 15.49a) cho phép tăng cột nước làm việc. Đặc trưng tổng của hai máy bơm nối liên tiếp được vẽ bằng cách cộng tung độ cột nước ($H_{1+2} = H_1 + H_2$) như trình bày trên hình 15.49b. Cũng làm như vậy, ta có các đường đặc trưng của ba máy v.v... Bằng cách nối liên tiếp nhiều máy bơm, ta có thể có cột nước lớn và cấp nước lên một độ cao mà một máy bơm không cấp được (đường đặc trưng của đường ống thể hiện bằng đường chấm chấm, đi cao hơn đặc trưng của từng máy bơm riêng lẻ. Tuy nhiên, cần chú ý là vỏ và các chi tiết khác của máy bơm được tính toán với một áp suất hạn chế, không cho phép chịu áp suất quá tải. Vì lưu lượng đi qua mỗi máy bơm đều giống nhau, nên đối với trường hợp nối liên tiếp cần chọn các máy bơm có lưu lượng gần như nhau, tức là có các kích thước gần bằng nhau.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Chương 16

MÔ HÌNH HÓA THỦY LỰC

16.1. CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ MÔ HÌNH HÓA THỦY LỰC[1]

Mô hình hóa thủy lực dựa trên cơ sở các định luật tổng quát về tương tự các hệ cơ học. Hai dòng chất lỏng sẽ tương tự với nhau, nếu chúng tương tự hình học, cũng như nếu đối với tất cả các điểm tương ứng của hai dòng chảy, có các điều kiện tương tự về đặc trưng động học và động lực học. Trong trường hợp này ta có các đẳng thức sau:

$$L = \alpha_l l; \qquad T = \alpha_t t/V = \alpha_v v; \qquad a_{tn} = \alpha_a a_m;$$

$$P = \alpha_p p; \qquad \rho_{tn} = \alpha_\rho \rho_m \quad \text{và} \qquad \nu_{tn} = \alpha_\nu \nu_m.$$

trong đó: L và l; T và t; V và v; a_{tn} và a_m; P và p; ρ_{tn} và ρ_m và cuối cùng là ν_{tn} và ν_m là các kí hiệu của chiều dài, thời gian, vận tốc, gia tốc, lực (áp suất), mật độ và hệ số nhớt động học của dòng tự nhiên và dòng mô hình, còn α_l, α_t, α_v v.v... là các hệ số tỉ lệ của chiều dài, thời gian, vận tốc v.v...

Thường khi mô hình hóa các công trình thủy lợi, chất lỏng trong mô hình là nước có cùng mật độ và độ nhớt như trong dòng chảy thiên nhiên, ngoài ra thường tiến hành các thí nghiệm trong các điều kiện dưới cùng một giá trị g ($g_{tn} = g_m$) vì vậy các hệ số tỉ lệ xích của mật độ, độ nhớt và gia tốc rơi tự do đều bằng một: $\alpha_\rho = 1$; $\alpha_\nu = 1$ và $\alpha_g = 1$. Trong các điều kiện như vậy không có sự tương tự thật chính xác. Trong thực tế, để đạt được sự tương tự tương đối giữa dòng tự nhiên và dòng mô hình cần phải bảo đảm có các điều kiện sau:

1. Tương tự hình học;

2. Tương tự các điều kiện ban đầu và điều kiện biên trên mô hình;

3. Các tiêu chuẩn tương tự động lực trên mô hình và trong tự nhiên phải bằng nhau. Khi tiến hành thí nghiệm phải chọn tiêu chuẩn đó sao cho phù hợp với các lực cơ bản là các lực tạo nên dòng chảy.

---

[1] Ở đây trình bày ngắn gọn các khái niệm về mô hình hóa trong khuôn khổ các bài toán tính sơ bộ để nghiên cứu thủy lực phục vụ cho việc thiết kế các công trình thủy lợi khác nhau (đường ống, kênh, đập tràn v.v...).

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Hệ thức giữa các hệ số tỉ lệ xích được xác định theo các tiêu chuẩn tương tự đã dùng. Có thể viết các hệ thức quan trọng nhất sau đây:

$$\frac{\alpha_v^2}{\alpha_g \alpha_l} = \frac{\alpha_v \alpha_l}{\alpha_v} = \frac{\alpha_p}{\alpha_\rho \alpha_v^2} = \frac{\alpha_v \alpha_t}{\alpha_l} = 1 \qquad (16\text{-}1)$$

là các quan hệ xuất phát từ bốn tiêu chuẩn tương tự thường dùng nhất là số Frud $Fr = v^2/(gl)$, số Râynôn $Re = vl/\nu$, số Ơle $Eu = p/(\rho v^2)$ và số Strukhal $St = vt/l$.

Đối với dòng chảy chậm của chất lỏng nhớt có thể lấy số Lagrăng làm tiêu chuẩn tương tự:

$$La = \frac{\Delta PL}{\rho_{tn} \nu_{tn} V} = \frac{\Delta pl}{\rho_m \nu_m v} \qquad (16\text{-}2)$$

Có thể biểu diễn số này như tích giữa số Ơle và số Râynôn:

$$La = Eu.Re$$

Ghi chú: Khi mô hình hóa dòng chảy chậm của chất lỏng nhớt, cần phải thực hiện đồng thời sự tương tự về lực nhớt và về độ chênh áp suất.

Tiêu chuẩn cơ bản của tương tự động lực là tiêu chuẩn Niutơn:

$$Ne = \frac{FL}{MV^2} = idem \qquad (16\text{-}3)$$

tức là đối với các dòng chảy tương tự, số Niutơn nói trên phải như nhau.

Tiêu chuẩn đó là hệ quả của định luật Niutơn thứ hai $F = M\frac{dV}{dT}$, do đó đối với tự nhiên và mô hình có thể viết

$$F = M\frac{V}{dT} \text{ và } f = m\frac{dv}{dt}$$

hoặc

$$\frac{M}{F}\frac{dV}{dT} = 1 \text{ và } \frac{m}{f}\frac{dv}{dt} = 1$$

Từ các công thức trên, đối với các dòng chảy tương tự động lực có thể rút ra các quan hệ giữa các hệ số tỉ lệ: $\frac{\alpha_f \alpha_t}{\alpha_m \alpha_v} = 1$.

Do đó hệ số tỉ lệ đối với các lực tác dụng được xác định theo công thức sau:

$$\alpha_f = \frac{\alpha_m \alpha_v}{\alpha_t}$$

hoặc vì $\alpha_m = \alpha_\rho \alpha_l^3$, còn $\frac{\alpha_l}{\alpha_t} = \alpha_v$ nên $\alpha_f = \frac{\alpha_\rho \alpha_l \alpha_v}{\alpha_t} = \alpha_\rho \alpha_l^2 \alpha_v^2$.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Ghi chú: Sau khi thay các hệ số tỉ lệ vào công thức cuối cùng bằng các quan hệ của các đại lượng vật lí tương ứng, ta có:

$$\frac{F}{f} = \frac{\rho_{tn} L^2 V^2}{\rho_m l^2 v^2} \tag{16-4}$$

hoặc:

$$\frac{F}{\rho_{tn} L^2 V^2} = \frac{f}{\rho_m l^2 v^2} \tag{16-5}$$

Đây chính là tiêu chuẩn cơ bản của tương tự động lực đã nói ở trên, tức là tiêu chuẩn Niutơn, được viết dưới dạng khác.

Từ tiêu chuẩn cơ bản của Niutơn (16-3), có thể rút ra được các tiêu chuẩn tương tự riêng cho các lực có nguồn gốc vật lí khác nhau. Dưới đây sẽ trình bày các lực cơ bản và các tiêu chuẩn tương tự tương ứng với chúng thường gặp nhất trong các bài toán thủy lực:

Lực trọng trường	Số Frud	$Fr = \frac{v^2}{gl} = idem$
Lực nhớt	Số Râynôn	$Re = \frac{vl}{\nu} = idem$
Lực căng mặt ngoài	Số Vâybe	$We = \frac{\rho v^2 l}{\sigma} = idem$
Áp lực	Số Ơle	$Eu = \frac{p}{\rho v^2} = idem$
Lực đàn hồi biến dạng (theo Húc)	Số Kôsi	$Ca = \frac{\rho v^2}{E} = idem$
Lực quán tính khi chuyển động không ổn định	Số Xtrukhan	$St = \frac{vt}{l} = idem$

Ghi chú: Các tiêu chuẩn tương tự cũng có vai trò như mọi thông số $\lambda_{tn} = \lambda_m$) và hệ số ($C_{tn} = C_m$), mà theo các điều kiện mô hình hóa, trong các hệ tương tự phải giữ nguyên giá trị không đổi. Thí dụ, khi mô hình hóa thủy lực trong các điều kiện $g_{tn} = g_m$ và $\rho_{tn} = \rho_m$ và bỏ qua các lực nhớt, thì các hệ số tỉ lệ $\alpha_g = \alpha_\rho = 1$ cho phép ta lập được các quan hệ: khi $\alpha_g = 1$ ta có $\alpha_t = \sqrt{\alpha_l}$ và $\alpha_v = \sqrt{\alpha_l}$; khi $\alpha_\rho = 1$ ta có $\alpha_f = \frac{\alpha_l^4}{\alpha_t^2} = \alpha_l^3$.

Các hệ số tỉ lệ của các đại lượng cơ bản được thống nhất biểu diễn chiều dài (hình học) của mô hình α_l (bảng 16.1). Bảng 16.1 dùng để tính các số liệu thí nghiệm mô hình ra các số liệu tự nhiên.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Bảng 16.1

Các điều kiện mô hình hóa	Các hệ số tỉ lệ							
	Chiều dài	Diện tích	Thể tích	Thời gian	Vận tốc	Gia tốc	Lưu lượng	Lực
Theo Frud	α_l	α_l^2	α_l^3	$\sqrt{\alpha_l}$	$\sqrt{\alpha_l}$	1	$\alpha_l^{2,5}$	α_l^3
Theo Râynôn	α_l	α_l^2	α_l^3	α_l^2	α_l^{-1}	α_l^{-3}	α_l	1

Thí dụ: Giả thử khi mô hình hóa theo số Frud Fr = idem, mô hình được chế tạo với kích thước bằng 1/25 của tự nhiên (tỉ lệ chiều dài $\alpha_l = 25$), vận tốc và lưu lượng đo được bằng v = 0,5 m/s và q = 1,5 *l*/s. Xác định các vận tốc và lưu lượng trong tự nhiên.

Giải: Theo bảng 16.1 ta tính, đối với vận tốc $\alpha_v = \sqrt{\alpha_l}$ và đối với lưu lượng $\alpha_Q = \alpha_l^{2.5}$

Lúc đó ta có:

Vận tốc trong tự nhiên $V = v\alpha_v = v\sqrt{\alpha_l} = 0,5\sqrt{25} = 2,5$ m/s

Lưu lượng trong tự nhiên $Q = q\alpha_l^{2,5} = 0,0015.25^{2,5} = 4,69$ m^3/s

16.2. LÍ THUYẾT BỐCKINGAM (Định lí Pi)

Mọi quan hệ vật lí cơ bản giữa các đại lượng thứ nguyên đều có thể biểu diễn và viết như quan hệ giữa các đại lượng không thứ nguyên - tức là các thông số mà trong các hệ tương tự có vai trò như các tiêu chuẩn tương tự. Trong các trường hợp, khi đối với một hiện tượng vật lí đang xét (thí dụ, đối với một dòng chảy nào đó của chất lỏng), ta chưa biết được quan hệ hàm giữa các yếu tố gây nên hiện tượng đó, lúc đó để xác định mối liên hệ này ta nên sử dụng lí thuyết Bơckingam (Định lí Pi).

Nội dung Định lí đó như sau. Mọi phương trình:

$$f(a_1, a_2 \ldots a_n) = 0 \qquad (16\text{-}6)$$

biểu diễn mối liên hệ giữa n đại lượng vật lí có thứ nguyên, mà thứ nguyên của chúng được xác định qua m các đại lượng cơ bản (khối lượng, chiều dài và thời gian), đều có thể biến đổi thành phương trình (16-7):

$$F(\pi_1, \pi_2, \ldots, \pi_{n-m}) = 0 \qquad (16\text{-}7)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

biểu diễn mối liên hệ giữa (n – m) tổ hợp không thứ nguyên độc lập π được tạo nên từ (m + 1) đại lượng trong số các đại lượng có trong phương trình (16-6). Nếu m = 3, thì mỗi tổ hợp π_i do đó sẽ chứa bốn thừa số.

Việc xác định các tổ hợp không thứ nguyên nói trên được tiến hành theo các hệ phương trình sau đây:

$$\pi_1 = a_1^{x_1} a_2^{y_1} a_3^{z_1} a_4^{p_1};$$

$$\pi_2 = a_1^{x_2} a_2^{y_2} a_3^{z_2} a_5^{p_2};$$

$$\pi_3 = a_1^{x_3} a_2^{y_3} a_3^{z_3} a_6^{p_3}; \qquad (16\text{-}8)$$

.....

$$\pi_{n-3} = a_1^{x_{n-3}} a_2^{y_{n-3}} a_3^{z_{n-3}} a_n^{p_{n-3}}$$

Ở đây, chỉ số mũ p_i của thừa số thứ tự ở vế phải của mọi phương trình đều có thể lấy bằng giá trị tùy ý, nhưng thường lấy nó bằng một vì điều đó rất tiện trong thực tế. Chỉ số mũ của ba thừa số đầu x_i, y_i, z_i phải xác định sao cho tổ hợp tương ứng π, là không thứ nguyên. Các chỉ số mũ x_i, y_i, z_i của các π_i khác nhau sẽ khác nhau. Ba đại lượng vật lí đầu tiên a_1, a_2, a_3 chứa trong tất cả các tổ hợp, còn đại lượng thứ tư thì thay đổi từ tổ hợp này sang tổ hợp khác.

Ghi chú: Cần chú ý là nếu tất cả các đại lượng chứa trong phương trình (16-8) đều là các đại lượng động học thì thứ nguyên của chúng được xác định bằng hai đại lượng (chiều dài và thời gian), vì vậy trong trường hợp này m = 2 và mỗi tổ hợp π_i được tạo nên từ (m + 1) đại lượng, tức là từ ba thừa số.

Trình tự tính toán để lập phương trình tiêu chuẩn (theo định lí Pi) được trình bày trong các thí dụ sau.

Thí dụ 1: Giả thử đối với một trường hợp chuyển động nào đó của chất lỏng, ta xác định được lưu lượng $Q[L^3/T]$ phụ thuộc vào vận tốc $v[L/T]$, vào diện tích mặt cắt ngang của dòng chảy $\omega[L^2]$, vào mật độ $\rho[FT^2/L^4]$, vào hệ số nhớt của chất lỏng $\mu[FT/L^2]$ và vào cột nước $H[L]$. Điều kiện đó được viết như sau:

$$Q = f_o(v, \omega, \rho, \mu, H) \quad \text{hoặc} \quad f(v, \omega, \rho, \mu, H, Q) = 0 \qquad (16\text{-}9)$$

Yêu cầu viết phương trình tiêu chuẩn

$$F(\pi_1, \pi_2, ..., \pi_{n-m}) = 0$$

Trong đó mỗi π_i phải được thể hiện qua các đại lượng đã chứa trong phương trình (16-9). Các đại lượng thứ nguyên này (gồm có sáu) được xác định qua ba đại lượng cơ bản (lực, chiều dài, thời gian), vì vậy số lượng của tổ hợp không thứ nguyên π bằng ba: (n – m) = 3.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Giải:

1- Phương trình cần tìm có dạng: $F(\pi_1, \pi_2, \pi_3) = 0$ (16-10)

Trong đó tương ứng với (16-9), đối với từng π_i có thể viết:

$$\left.\begin{aligned} \pi_1 &= v^{x_1}\omega^{y_1}\rho'^{z_1}\mu; \\ \pi_2 &= v^{x_2}\omega^{y_2}\rho'^{z_2}H; \\ \pi_3 &= v^{x_3}\omega^{y_3}\rho'^{z_3}Q \end{aligned}\right\} \quad (16\text{-}11)$$

2- Bây giờ ta tính giá trị của các chỉ số mũ x_i, y_i, z_i đối với mỗi π_i.

Đối với π_i, sau khi thay v, ω, ρ và μ bằng các thứ nguyên của chúng, ta có:

$$\left[\frac{L}{T}\right]^{x_1}\left[L^2\right]^{y_1}\left[\frac{FT^2}{L^4}\right]^{z_1}\left[\frac{FT}{L^2}\right] \quad (16\text{-}12)$$

hoặc cũng vậy $$L^{x_1+2y_1-4z_1-2}T^{-x_1+2z_1+1}F^{z_1+1} \quad (16\text{-}12')$$

3- Biểu thức (16-12') phải là biểu thức không thứ nguyên và các chỉ số mũ của L, T và F phải bằng không, tức là:

$$\begin{aligned} x_1 + 2y_1 - 4z_1 - 2 &= 0 \\ -x_1 + 2z_1 + 1 &= 0 \\ z_1 + 1 &= 0 \end{aligned}$$

Giải hệ phương trình này, ta được: $x_1 = -1$; $y_1 = -\frac{1}{2}$ và $z_1 = -1$.

Do đó, ta sẽ có biểu thức sau đây cho π_1:

$$\pi_1 = v^{x_1}\omega^{y_1}\rho'^{z_1} = v^{-1}\omega^{-1/2}\rho^{-1}\mu$$

$$\pi_1 = \frac{\mu}{v\sqrt{\omega\rho}} = \frac{\nu}{v\sqrt{\omega}}$$

hoặc vì có thể lấy $\sqrt{\omega} = l$, nên $\pi_1 = \frac{\nu}{vl} = \frac{1}{Re}$.

4. Tương tự như trên ta tính π_2, π_3.

Đối với π_2: $\pi_2 = v^{x_2}\omega^{y_2}\rho'^{z_2}H$.

Do đó, đối với π_2, ta có:

$$\left[\frac{L}{T}\right]^{x_2}\left[L^2\right]^{y_2}\left[\frac{FT^2}{L^4}\right]^{x_2}[L]$$

Sau khi cho các chỉ số mũ của L, T và F bằng không, tương tự như trên ta được:

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$x_2 + 2y_2 - 4z_2 + 1 = 0$$
$$-x_2 + 2z_2 = 0$$
$$z_2 = 0$$

Do đó ta có $x_2 = 0$; $z_2 = 0$ và $y_2 = -1/2$.

Như vậy ta có: $\pi_2 = v^o\omega^{-1/2}\rho^o H = H/\sqrt{\omega}$

Đối với π_3: $\pi_3 = v^{x_3}\omega^{y_3}\rho^{z_3}Q$ hay $\left[\frac{L}{T}\right]^{x_3}\left[L^2\right]^{y_3}\left[\frac{FT^2}{L^4}\right]^{z_3}\left[\frac{L^3}{T}\right]$

và do đó:

$$x_3 + 2y_3 - 4z_3 + 3 = 0$$
$$-x_3 + 2z_3 - 1 = 0$$
$$z_3 = 0$$

Do đó ta được: $x_3 = -1$; $y_3 = -1$ và $z_3 = 0$ và $\pi_3 = v^{-1}\omega^{-1}\rho^o Q = \frac{Q}{v\omega}$

5- Phương trình tiêu chuẩn (16-10) cần tìm có dạng:

$$F\left[\frac{v}{v\sqrt{\omega}}; \frac{H}{\sqrt{\omega}}; \frac{Q}{v\omega}\right] = 0 \qquad (16\text{-}10')$$

hoặc vì $\frac{v}{v\sqrt{\omega}} = \frac{1}{Re}$ nên $F\left[\frac{1}{Re}; \frac{H}{\sqrt{\omega}}; \frac{Q}{v\omega}\right] = 0$

Ghi chú: Dùng (16-10') có thể viết:

$$\frac{Q}{v\omega} = \Phi(Re, \frac{H}{\sqrt{\omega}})$$

và vì: $v = \sqrt{2gH}$ nên $Q = \omega\sqrt{2gH}\Phi(Re, \frac{H}{\sqrt{\omega}})$

hoặc: $Q = m\omega\sqrt{2gH}$

trong đó hệ số: $m = \Phi(Re, \frac{H}{\sqrt{\omega}})$.

Thí dụ 2: Xác định các thông số của phương trình tiêu chuẩn

$$F(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4) = 0$$

nếu chuyển động của chất lỏng ở dạng tổng quát được xác định bằng phương trình với n = 7 đại lượng

$$f(l, t, v, g, \Delta p, \rho, \nu) = 0 \qquad (16\text{-}13)$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Giải: Thứ nguyên của từng đại lượng được xác định bằng ba đại lượng cơ bản đã chọn (chiều dài, thời gian, khối lượng):

$$l[L],\ t[T],\ v\left[\frac{L}{T}\right],\ g\left[\frac{L}{T^3}\right],\ \Delta p\left[\frac{M}{LT^2}\right],\ \rho\left[\frac{M}{L^3}\right] \text{ và } \nu\left[\frac{L^2}{T}\right]$$

1. Theo sơ đồ đã chọn, đối với mỗi tổ hợp không thứ nguyên π_i có thể viết

$$\begin{aligned}\pi_1 &= l^{x_1} t^{y_1} \rho^{z_1} v;\\ \pi_2 &= l^{x_2} t^{y_2} \rho^{z_2} g;\\ \pi_3 &= l^{x_3} t^{y_3} \rho^{z_3} \Delta p;\\ \pi_4 &= l^{x_4} t^{y_4} \rho^{z_4} \nu\end{aligned} \qquad (16\text{-}14)$$

hoặc là khi xét đến thứ nguyên của các đại lượng xuất xứ

$$\left.\begin{aligned}\pi_1 &= [L]^{x_1}[T]^{y_1}\left[\frac{M}{L^3}\right]^{z_1}\left[\frac{L}{T}\right]\\ \pi_2 &= [L]^{x_2}[T]^{y_2}\left[\frac{M}{L^3}\right]^{z_2}\left[\frac{L}{T^2}\right]\\ \pi_3 &= [L]^{x_3}[T]^{y_3}\left[\frac{M}{L^3}\right]^{z_3}\left[\frac{M}{LT^2}\right]\\ \pi_4 &= [L]^{x_4}[T]^{y_4}\left[\frac{M}{L^3}\right]^{z_4}\left[\frac{L^2}{T}\right]\end{aligned}\right\} \qquad (16\text{-}15)$$

2- Phương trình (16-15) biến đổi thành

$$\left.\begin{aligned}\pi_1 &= L^{x_1-3z_1+1}T^{y_1-1}M^{z_1}\\ \pi_2 &= L^{x_2-3z_2+1}T^{y_2-2}M^{z_2}\\ \pi_3 &= L^{x_3-3z_3-1}T^{y_3-2}M^{z_3+1}\\ \pi_4 &= L^{x_4-3z_4+2}T^{y_4-1}M^{z_4}\end{aligned}\right\} \qquad (16\text{-}15')$$

do đó, khi cho các chỉ số mũ của L, T và M bằng không, thì đối với mỗi tổ hợp π_i trong số bốn tổ hợp ta có hệ phương trình:

$x_1 - 3z_1 + 1 = 0;$ $x_2 - 3z_2 + 1 = 0;$ $x_3 - 3z_3 - 1 = 0;$ $x_4 - 3z_4 + 2 = 0;$

$y_1 - 1 = 0;$ $y_2 - 2 = 0;$ $y_3 - 2 = 0;$ $y_4 - 1 = 0;$

$z_1 = 0;$ $z_2 = 0;$ $z_3 + 1 = 0;$ $z_4 = 0$

3- Giải từng hệ phương trình ta được

Đối với π_1: $x_1 = -1;$ $y_1 = 1;$ $z_1 = 0$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Đối với π_2: $x_2 = -1$; $y_2 = 2$; $z_2 = 0$

Đối với π_3: $x_3 = -2$; $y_3 = 2$; $z_3 = -1$

Đối với π_4: $x_4 = -2$; $y_4 = 1$; $z_4 = 0$

4- Ta xác định dạng của các thông số không thứ nguyên

$$\left.\begin{aligned} \pi_1 &= \frac{tv}{l} = St \\ \pi_2 &= \frac{gt^2}{l} = \frac{gl}{v^2} = \frac{1}{Fr} \\ \pi_3 &= \frac{\Delta p t^2}{l^2} = \frac{\Delta p}{v^2} = Eu \\ \pi_4 &= \frac{t}{l^2} = \frac{\nu}{vl} = \frac{1}{Re} \end{aligned}\right\}$$

và viết dưới dạng tổng quát của phương trình tiêu chuẩn cho chuyển động không ổn định của chất lỏng nhớt:

$$F(St, Fr, Eu, Re) = 0$$

16.3. MÔ HÌNH HÓA DÒNG CHẢY TRONG ỐNG CÓ ÁP

Khi mô hình hóa chuyển động của chất lỏng, phương trình tiêu chuẩn ở dạng tổng quát có thể viết là:

$$f(k/R, Re, Eu, St, Fr) = 0 \qquad (16\text{-}16)$$

trong đó k/R - độ nhám tương đối của thành ống dẫn, còn các kí hiệu khác vẫn như cũ.

Trong chuyển động có áp khi không có các lực thể tích trọng trường, phương tiêu chuẩn (16-16) sẽ không chứa số Frud còn nếu trạng thái chảy là ổn định thì cũng mất cả tiêu chuẩn St nên phương trình tiêu chuẩn có dạng:

$$f_2(k/R, Re, Eu) = 0 \qquad (16\text{-}16')$$

Trong tiêu chuẩn Ơle có độ chênh áp suất là đại lượng chưa biết, do đó tiêu chuẩn quyết định là số Re, nên từ biểu thức (16-16') có thể rút ra các điều kiện mô hình hóa dưới dạng:

$$Eu = f(k/R; Re) \qquad (16\text{-}16'')$$

khi Re = idem hoặc, do $Eu = \frac{L}{4R}\lambda$ nên có thể viết dưới dạng

$$\lambda = f(k/R; Re) \qquad (16\text{-}16''')$$

khi Re = idem.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Các điều kiện mô hình hóa rất dễ thực hiện trong hai khu tự động mô hình sau đây:

1. Khu trạng thái chảy tầng của các dòng chảy rất chậm của chất lỏng nhớt, khi có thể bỏ qua các lực quán tính. Sự tương tự được xác lập bằng tiêu chuẩn Lagrăng

$$La = Eu.Re = idem \qquad (16\text{-}17)$$

Điều đó dẫn đến điều kiện $Eu = idem/Re$ (16-17')

2. Khu bình phương sức cản với $Re_m > Re_{gh}$ khi có thể bỏ qua lực nhớt và lấy $k/R = const$.

Các điều kiện tương tự được xác dịnh trong điều kiện:

$$\left.\begin{aligned} Eu &= idem \\ \lambda_{tn} &= \lambda_m \end{aligned}\right\} \qquad (16\text{-}18)$$

Trong trường hợp đó, bài toán mô hình hóa dẫn về bài toán chọn độ nhám lòng dẫn trên mô hình để thực hiện điều kiện $\lambda_{tn} = \lambda_m$. Ranh giới dưới của khu bình phương lúc đó có thể xác định bằng công thức Nicuratde:

$$Re_{gh} = \frac{84R_m}{k_m\sqrt{\lambda}} \qquad (16\text{-}19)$$

hoặc do hệ số sức cản trong khu vực quá độ của ống nhám thay đổi rất ít, nên[1]

$$Re_{gh} = \frac{14R_m}{k_m\sqrt{\lambda}} \qquad (16\text{-}20)$$

trong đó: R_m và k_m - bán kính thủy lực và chiều cao mố nhám trên mô hình.

Có thể xác lập các hệ số tỉ lệ α_i đối với tất cả các đại lượng vật lí trên cơ sở (16-16") và (16-18).

So sánh các số Râynôn giới hạn cho phép của mô hình theo (16-19), (16-20) với các số tự nhiên, ta có:

$$\frac{Re_{tn}}{Re_m} = \frac{\alpha_v\alpha_l}{\alpha_v} \qquad (16\text{-}21)$$

nên khi $\alpha_g = \alpha_\rho = \alpha_\nu = 1$ ta có các quan hệ

$$\left.\begin{aligned} \alpha_l &= \alpha_v^{-1}\left(\frac{Re_{tn}}{Re_m}\right) \\ \alpha_q &= \alpha_v\alpha_l^2 = \alpha_l\left(\frac{Re_{tn}}{Re_m}\right) \end{aligned}\right\} \qquad (16\text{-}22)$$

---

[1] Lêvi I. I. Mô hình hóa các hiện tượng thủy lực. M. "Năng lượng", 1967.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

và khi Eu = idem sẽ có: $\alpha_{\Delta p} = \alpha_v^2$ (16-22')

Nếu lấy tỉ lệ chiều dài α_l theo các điều kiện nhám $\lambda = f(Re)$, thì từ (16-22) với $Re_m = Re_{gh}$ sẽ xác định được các hệ số tỉ lệ α_v, α_q và $\alpha_{\Delta p}$ cho vận tốc, lưu lượng và áp suất.

Đối với các đường ống nhẵn, sự tương tự được xác lập với điều kiện:

$$Re = idem$$
$$\lambda = f(Re) \qquad (16\text{-}23)$$

điều đó dẫn đến các hệ thức sau đây giữa các hệ số tỉ lệ

$$\alpha_v = \alpha_v \alpha_l^{-1}$$
$$\alpha_p = \alpha_l^{-2} \alpha_\rho \alpha_v^2 \qquad (16\text{-}24)$$
$$\alpha_q = \alpha_l \alpha_v$$

Với các điều kiện trong phòng thí nghiệm thủy lực khi $\alpha_v = \alpha_\rho = 1$, các biểu thức (16-24) còn đơn giản hơn, nhưng ở đây việc tính toán để đổi bất kì một đại lượng mô hình nào (v, p, q, v.v...) thành đại lượng tự nhiên cũng phải xét đến các đại lượng hiệu chỉnh tỉ lệ do ảnh hưởng của lực nhớt:

$$\Delta v = f(Re);\ \Delta p = f(Re);\ \Delta q = f(Re)\ v.v... \qquad (16\text{-}25)$$

Các hiệu chỉnh này được xác định trên cơ sở nghiên cứu mô hình với các tỉ lệ khác nhau trong phạm vi thay đổi lớn về số Râynôn.

Thí dụ: Để nghiên cứu sức cản của đường ống, người ta xác định lưu lượng trên mô hình, cho biết ống bêtông trong tự nhiên có đường kính D = 4m, chiều cao mố nhám k_{tn} = 0,1cm và λ_{tn} = 0,01 cho thoát dưới áp lực một lưu lượng Q = 25 m^3/s. Vật liệu thành ống của mô hình có chiều cao mố nhám k_m = 0,008cm.

Giải:

1. Bằng cách mô hình hóa độ nhám của thành, ta có thể xác định tỉ lệ hình học của mô hình:

$$\alpha_l = \frac{k_{tn}}{k_m} = \frac{0,1}{0,008} = 12,5$$

và đường kính, bán kính thủy lực của ống mô hình:

$$d = D/\alpha_l = 400/12,5 = 32cm \text{ và } R_m = d/2 = 32/2 = 16cm.$$

2. Với điều kiện $\lambda_{tn} = \lambda_m$, theo công thức (16-20) ta xác định được ranh giới khu tự động mô hình:

$$Re_{gh} = \frac{14R_m}{k_m\sqrt{\lambda}} = \frac{14.16}{0,008\sqrt{0,01}} = 280000$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

còn khi $V = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{4.25}{3,14.4^2} = 1,99$ m/s, ta xác định được số Râynôn trong tự nhiên.

$$Re_{tn} = \frac{VR_{tn}}{\nu} = \frac{199.200}{0,01} = 3980000$$

3. Theo các công thức (16-22), ta xác định được các hệ số tỉ lệ:

$$\alpha_v = \frac{1}{\alpha_l}\left(\frac{Re_{tn}}{Re_m}\right) = \frac{1}{12,5}\left(\frac{3980000}{280000}\right) = 1,14$$

và $$\alpha_q = \alpha_v \alpha_l^2 = 1,14.12,5^2 = 178$$

4. Vận tốc của dòng chảy trên mô hình

$$v = V/\alpha_v = 199/1,14 = 175 \text{ cm/s}$$

còn lưu lượng $$q = Q/\alpha_q = 0,14 \text{ m}^3/\text{s} = 140 \text{ l/s}$$

Ghi chú: Nếu phải thực hiện một cách chặt chẽ điều kiện Re = idem, thì trên mô hình phải bảo đảm q = 2 m^3/s, nhưng là điều không hợp lí trong thực tế.

16.4. MÔ HÌNH HÓA DÒNG CHẢY ĐỀU TRONG LÒNG DẪN HỞ

Dạng tổng quát của phương trình tiêu chuẩn để xác định thực nghiệm bất kì một đại lượng vật lí nào là:

$$a_i = f(Fr, Re) \qquad (16\text{-}26)$$

Trong các điều kiện tự động mô hình $\lambda_{tn} = \lambda_m$ ta có thể mô hình hóa với điều kiện:

$$\left.\begin{aligned} Fr &= idem \\ Re_m &\geq Re_{gh} \end{aligned}\right\} \qquad (16\text{-}26')$$

Ranh giới của khu tự động mô hình khi $Re_m \geq Re_{gh}$ đối với khu sức cản bình phương và sức cản quá độ có thể lần lượt xác định được theo các công thức (16-19) và (16-20).

Quan hệ giữa các hệ số tỉ lệ khi Fr = idem (bảng 16.1) dẫn đến điều kiện:

$$\frac{Re_{tn}}{Re_m} = \alpha_l^{3/2}\alpha_v^{-1} \qquad (16\text{-}27)$$

hoặc khi $\alpha_v = 1$ $$\alpha_l^{3/2} = \frac{Re_{tn}}{Re_m} \qquad (16\text{-}27')$$

tức là khi $Re_m = Re_{gh}$, sau khi duy trì được trạng thái tương ứng trong điều kiện $\lambda_{tn} = \lambda_m$ trên cơ sở (16-20) ta xác lập được tỉ lệ tối thiểu của mô hình theo công thức:

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$\alpha_{l\,min} = \left(\frac{Vk_m \sqrt{\lambda_m}}{14\gamma} \right)^2 . \qquad (16\text{-}28)$$

Khi mô hình hóa theo Frud, Fr = idem, sự tương tự tuyệt đối sẽ bị phá vỡ nếu sức cản của dòng chảy trên mô hình lớn hơn là trong thiên nhiên ($\lambda_m > \lambda_{tn}$). Ở đây vẫn có thể duy trì được điều kiện cần $Re_m > Re_{gh}$ (16-26') bằng cách biến đổi hệ số tỉ lệ đứng α_h và ngang α_l ($\alpha_h \neq \alpha_l$)[1]

Các hệ số tỉ lệ khi mô hình hóa gần đúng với các tỉ lệ hình học biến đổi được xác định theo các hệ thức:

$$\left.\begin{aligned} \alpha_i &= \alpha_h / \alpha_l \\ \alpha_\lambda &= \alpha_h / \alpha_l \\ \alpha_\omega &= \alpha_l \alpha_h \\ \alpha_v &= \sqrt{\alpha_h} \\ \alpha_q &= \alpha_l \alpha_h \alpha_v = \alpha_l \alpha_h^{3/2} \end{aligned}\right\} \qquad (16\text{-}29)$$

Ghi chú: Ở bên ngoài khu vực tự động mô hình $\lambda = f(Re)$, tiêu chuẩn quyết định cũng vẫn là số Râynôn (Re = idem), tức là khi mô hình hóa theo Frud ta cần phải xét đến ảnh hưởng của lực nhớt bằng cách đưa các tỉ lệ hiệu chỉnh dạng (16-25) vào công thức.

Thí dụ: Sau T = 80 sec cho nước vào kênh, đo được lưu lượng là Q = 42 m^3/s và vận tốc ở kênh dẫn V = 1,3 m/s ứng với chiều sâu H = 3,2m. Chiều cao mố nhám của mặt bêtông trên mô hình k_m = 0,1cm và λ_m = 0,01.

Xác định tỉ lệ nhỏ nhất của mô hình và tính các đại lượng mô hình h, t, v và q.

Giải:

1- Tỉ lệ cho phép bé nhất của mô hình được xác định theo công thức (16-28):

$$\alpha_{l\,min} = \left(\frac{Vk_m \sqrt{\lambda_m}}{14v} \right) = \left(\frac{130.0,1\sqrt{0,01}}{14.0,01} \right)^2 = 86,5$$

Ta lấy α_l = 80.

2- Khi mô hình hóa theo Frud (bảng 16.1), ta xác định đại lượng:

$$h = \frac{H}{\alpha_l} = \frac{320}{80} = 4cm$$

---

[1] Sự biến đổi các tỉ lệ hình học của mô hình $\alpha_l \neq \alpha_h$ cũng được dùng khi mô hình hóa sự xói lở của đất hạt nhỏ không dính (xem mục 16.5a) và các dòng chảy trên mô hình không khí có áp.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

$$t = \frac{T}{\alpha_t} = \frac{T}{\sqrt{\alpha_l}} = \frac{80}{\sqrt{80}} = 8,95 \text{ sec}$$

$$v = \frac{V}{\sqrt{\alpha_l}} = \frac{130}{\sqrt{80}} = 14,5 \text{ cm/s}$$

$$q = \frac{Q}{\alpha_l^{2,5}} = \frac{42000}{80^2\sqrt{80}} = 0,735 \text{ l/s}$$

3- Để đặc trưng các trạng thái chảy, cần phải xác định:

$$Re_{tn} = \frac{VH}{\nu} = \frac{130.320}{0,01} = 4160000$$

và

$$Re_m = \frac{vh}{\nu} = \frac{14,5.4}{0,01} = 5800 > Re_{gh} = 5600$$

4- Để kiểm tra tỉ lệ mô hình đã lấy và tiến hành tính toán, ta xác định

$$\alpha_l = \left(\frac{Re_{tn}}{Re_m}\right)^{2/3} = \left(\frac{4160000}{5800}\right)^{2/3} = 80$$

16.5. CÁC VẤN ĐỀ CHUYÊN MÔN TRONG MÔ HÌNH HÓA THỦY LỰC

a) Mô hình hóa hiện tượng xói[1]

Khi mô hình hóa hiện tượng xói cần xét kết hợp tiêu chuẩn tương tự động lực của dòng chảy (Fr, Re, Ka, λ) với các thông số và các tiêu chuẩn tương tự xói và biến dạng lòng dẫn (H_x/H; V_{gh}/V^*_{gh}; ρ'/Re_*), với các tiêu chuẩn đẩy nổi và dịch chuyển của hạt trong dòng chảy (V/ω_o; $V^2/\rho' gH$).

Khi có mạch động cường độ lớn, phương trình tiêu chuẩn để xác định bằng thực nghiệm tính chất tương tác giữa dòng chảy và các hạt cứng, có thể viết dưới dạng:

$$a_i = f(Fr, Re_d, Ka, H_x/H, ...) \qquad (16\text{-}30)$$

Trong đó số Cácman Ka = V'/V = idem là số phản ảnh mối liên hệ giữa các cường độ của mạch động trong dòng chảy, còn số Frud, Fr = idem là số xác định các điều kiện tính toán chuyển các số liệu thí nghiệm sang các số liệu tự nhiên (xem bảng 16.1) trong khu vực tự động mô hình khi $Re_m \geq Re_{gh}$.

---

[1] Viết theo công trình của Lêvi I. I. Mô hình hóa các hiện tượng thủy lực. "Năng lượng", 1967.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Quan hệ giữa các hệ số tỉ lệ của các đại lượng hình học $\alpha_d = D/d$ với mật độ ρ' của các hạt trong các điều kiện tự động mô hình khi $Re_m \geq Re_{gh}$, được xác định bằng hệ thức:

$$\alpha_{u*} = \sqrt{\alpha_d \alpha_{\rho'}} \tag{16-31}$$

Hệ thức này được xác lập trên cơ sở các khái niệm về vận tốc động lực của dòng chảy:

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_o}{\rho_{tn}}} = \sqrt{gR_{tn}i} = a\sqrt{\rho' gd} \tag{16-32}$$

trong đó: $\rho' = (\rho_1 - \rho)/\rho$ - mật độ tương đối của đất, trong đó ρ_1 và ρ - mật độ của các hạt cứng và của nước;

τ_o - ứng suất tiếp trên thành;

R - bán kính thủy lực;

i - độ dốc ứng với thời điểm bắt đầu xói;

d - đường kính hạt đất;

a - hệ số tỉ lệ.

Vận tốc động lực u_* tương ứng với thời điểm khởi động của hạt đáy phụ thuộc vào số Râynôn vì hệ số a = f(Re).

Thí dụ: Lập công thức và dạng của các tiêu chuẩn quyết định để nghiên cứu vận tốc không xói của dòng chảy đối với đất không dính:

$$v_o = f(C, \rho, \gamma, d, \mu) \tag{16-33}$$

trong đó: C - hệ số chảy bao không thứ nguyên;

ρ và ρ_1 - mật độ nước và hạt đất;

$\gamma_1 = (\rho_1 - \rho)g$;

d - đường kính hạt;

$\mu = \rho$;

γ - hệ số nhớt động lực.

Giải:

1- Biểu diễn v_o dưới dạng đơn thức lũy thừa của các đại lượng trên

$$v_o = C\rho^x \gamma_1^y d^z \mu^p \tag{16-34}$$

tức là với ba đại lượng thứ nguyên cơ bản (chiều dài, thời gian và khối lượng) theo lí thuyết Pi ta có:

$$\frac{L}{T} = \left(\frac{M}{L^3}\right)^x \left(\frac{M}{L^2T^2}\right)^y L^z \left(\frac{M}{LT}\right)^p \tag{16-34'}$$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

2- Ta viết hệ ba phương trình với bốn ẩn số:

$$x + y + p = 0$$
$$l = -3x - 2y + z - p \qquad (16\text{-}35)$$
$$l = 2y + p$$

3- Ta xác định x, y, z theo hàm số p:

$$y = \frac{l - p}{2}$$
$$x = -\frac{l + p}{2} \qquad (16\text{-}35a)$$
$$z = \frac{l - 3p}{2}$$

4- Xác lập cấu trúc của hệ thức thực nghiệm dưới dạng:

$$v_o = C\rho^{-\frac{1+\rho}{2}} \gamma_l^{\frac{1-\rho}{2}} d^{\frac{1-3\rho}{2}} \mu^{\rho} = C\sqrt{\frac{\rho_l - \rho}{\rho} gd} \left(\frac{\nu}{d\sqrt{\frac{(\rho_l - \rho)}{\rho} gd}} \right)^{\rho} \qquad (16\text{-}36)$$

hoặc với giả thiết của B. A. Phitman

$$Re_d = \sqrt{\frac{\rho_l - \rho}{\rho} gd} \frac{d}{\nu}$$

thì dạng tổng quát của hệ thức thực nghiệm có thể viết dưới dạng:

$$v_o = C\sqrt{\frac{\rho_l - \rho}{\rho} gd} f(Re_d) \qquad (16\text{-}37)$$

Theo điều kiện tự động mô hình, có thể xác định hệ số tỉ lệ cho phép nhỏ nhất để mô hình hóa độ lớn của hạt trên cơ sở quan hệ sau:

$$\alpha_{Re} = \alpha_d^{3/2} \alpha_\rho^{1/2} \geq \frac{Re_{d.tn}}{Re_{d.gh}} \qquad (16\text{-}38)$$

và từ đó ta có:

$$\alpha_d = \frac{1}{\sqrt[3]{\alpha_{\rho'}}} \left(\frac{Re_{d.tn}}{Re_{d.gh}} \right) \qquad (16\text{-}39)$$

Dùng công thức (16-39), ta phải tiến hành các thí nghiệm với các điều kiện đặc trưng cho quan hệ động lực giữa dòng chảy và các hạt cứng để xác lập các yếu tố cơ bản, xác định dạng của các tiêu chuẩn quyết định và ranh giới của khu tự động mô hình $Re_m \geq Re_{gh}$ sao cho phù hợp được với các đặc điểm của hiện tượng đang nghiên cứu (bảng 16.2).

https://tieulun.hopto.org

Bảng 16.2. Các ví dụ về mô hình hóa các dòng nước dưới tác động tương hỗ giữa chúng với các hạt cứng

Hiện tượng được mô hình hóa	Các điều kiện mô hình hóa					
	Dạng tổng quát của quan hệ hàm và phương trình tiêu chuẩn	Các điều kiện tương tự	Khu tự động mô hình		Các quan hệ tỉ lệ	
			Dạng số Re_{gh}	Trị số Re_{gh}	Khi tương tự hình học hoàn toàn	Với tỉ lệ hình học biến đổi
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*
Xói lòng dẫn khi đáy có sóng cát	$f(\rho' u_*, d, \gamma_l, \mu, \omega_o) = 0$ $\Phi\left(Fr_l; Re_d; \frac{u_o}{\omega_o}\right) = 0$	$Fr = \frac{v^2}{gh} = idem$ $Re_m > Re_{gh}$ hay $Re_{*m} > Re_{*gh}$	$Re_d = \frac{d\sqrt{\rho' g l}}{\nu}$ $Re_* = \frac{u_* d}{\nu}$	60 - 75 10 - 12	$\alpha_l = \alpha_h = \alpha_d$ $\alpha_{\rho'} = \alpha_i = \alpha_\lambda = 1$ khi $\alpha_{\rho'} \neq 1$ $\alpha_v = \alpha_{u*} = \alpha_{\omega_o} = \sqrt{\alpha_h} = \sqrt{\alpha_d \alpha_{\rho'}}$ $\alpha_d = \frac{1}{\sqrt{\alpha_{\rho'}}}\left(\frac{Re_{tn}}{Re_{gh}}\right)^{2/3}$	$\alpha_l \neq \alpha_h \neq \alpha_d$ $\alpha_l = \alpha_h^2 \alpha_d^2$
Xói kênh $d < 1 \div 1{,}5$mm			$Re_d = \frac{d\sqrt{\rho' g d}}{\nu}$ $Re_* = \frac{u_* d}{\nu}$	300 50		$\alpha_{\rho'} \neq 1$ $\alpha_i \neq 1$; $\alpha_\lambda \neq 1$ $\alpha_\lambda = \alpha_i = \frac{\alpha_h}{\alpha_l}$
Vận chuyển thủy lực bùn cát	$f(\rho', \rho, d, \omega_o, \mu) = 0$ $\Phi\left((Fr_d; Re_d; \frac{v}{\omega_o}\right) = 0$	$Fr_d = \frac{v^2}{gd} = idem$ $\frac{v}{\omega_o} = idem$ $Re_m > Re_{gh}$	$Re_l = \frac{v_d}{\nu}$	200 - 250		$\alpha_\rho^1 = \frac{Re_{gh}}{Re_{tn}}\left(\frac{\alpha_h}{\sqrt{\alpha_l}}\right)^3$ $\alpha_h = \sqrt{\alpha_l}\left(\frac{Re_{tn}\,\alpha_{\rho'}}{Re_{gh}}\right)^{1/3}$

www.thuvien247.net

https://tieulun.hopto.org

1	2	3	4	5	6	7
Lắng đọng bùn cát	$f(\rho', l, h, v, d, \gamma_l, \mu, \omega_o) = 0$ $\Phi\left(\frac{l}{h}; \frac{v}{\omega_o}; Re_l; Fr_l\right) = 0$	$Fr_l = \frac{v^2}{\rho' gh} = idem$ $\frac{v}{\omega_o} = idem$ $Re_m > Re_{gh}$ hay $Re_m = Re_{tn}$ khi $Re_{tn} < Re_{gh}$	$Re_l = \frac{vd}{\nu}$ $Re_l = \frac{vd}{\nu}$	100 - 200 hay $10\sqrt{\frac{2}{\lambda}}$ 20 - 30 hay $5/\sqrt{\lambda}$	Công thức (16-51) $\alpha_d = \frac{1}{\sqrt[3]{\alpha_{\rho'}}}$	$\alpha_h = \sqrt{\alpha_l}(\alpha_l)^{1/3} = \frac{\alpha_{\rho'}^{1/3}}{\alpha_\lambda}$
Xói lòng dẫn sau công trình	$f(h_p, h, h_2'', v, d, \rho', \omega_o, s) = 0$ $\Phi\left(Fr; Ka; \frac{v}{\omega_o}; \frac{s}{h_{gh}}; \frac{h_p}{h}; \eta\right) = 0$	$Fr = \frac{v^2}{gh} = idem$ $\frac{v}{\omega_o} = idem$ $Ka = \frac{v'}{v} = idem$ $Re_m > Re_{gh}$ hoặc $Re_m = Re_{tn}$ khi $Re_{tn} < Re_{gh}$	$Re = \frac{vh}{\nu}$	2500 - 5000	$\alpha_h = \left(\frac{Re_{tn}}{5000}\right)^{2/3}$ $\alpha_d = \frac{1}{\sqrt[3]{\alpha_{\rho'}}}$	$\alpha_v = \sqrt{\alpha_h}$ $\alpha_{\omega o} = \alpha_v \left(\frac{\alpha_h}{\alpha_l}\right)^{2/3}$
Dòng mật độ	$f(\rho', \lambda, v, h, \mu) = 0$ $\Phi(Fr_1, Re) = 0$	$Fr_1 = \frac{v^2}{\rho' gh} = idem$ $Re_m > Re_{gh}$	$Re = \frac{vh}{\nu}$	10000 - 20000	$\alpha_h = \left(\frac{\alpha_v}{\sqrt{\alpha_{\rho'}}} \frac{Re_{tn}}{20000}\right)^{2/3}$	$\alpha_h = \left(\alpha_v \frac{Re_{tn}}{20000}\right)^{1/2} \times \left(\frac{\alpha_l}{\alpha_{\rho'}}\right)^{1/4}$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

www.thuvien247.net

Trong một số trường hợp, điều kiện $Re_m \geq Re_{gh}$ được thực hiện bằng cách biến đổi các hệ số tỉ lệ hình học của mô hình ($\alpha_l \neq \alpha_h$). Cần phải tiến hành mô hình hóa gần đúng với các biến đổi về hệ số tỉ lệ hình học của mô hình (16-29), khi sự tương tự bị phá vỡ do các nguyên nhân sau:

a) Không thể mô hình hóa được độ nhám các lòng dẫn trơn ($\lambda_m > \lambda_{tn}$).

b) Xuất hiện các lực dính giữa các hạt bùn cát nhỏ (d < 0,5mm).

c) Không tuân thủ được các trạng thái chuyển động của dòng chảy mô hình và dòng chảy tự nhiên.

d) Mô hình hóa nằm bên ngoài khu tự động mô hình.

Trị số giới hạn của khả năng biến đổi là $\alpha_l/\alpha_h = 6 \div 10$.

Thí dụ: Chọn mật độ vật liệu ρ_m và xác định độ lớn d của nó, nếu cho tỉ lệ mô hình $\alpha_l = 100$, hiện tượng xói lòng dẫn trong tự nhiên xảy ra khi V = 1,25 m/s, D = 10mm và $\rho_{tn} = 2,7$.

Giải:

1- Ta xác định điều kiện chuyển động của dòng chảy trong tự nhiên

$$Re_{tn} = \frac{D\sqrt{\rho'_{tn} g D}}{\nu} = \frac{1.\sqrt{1,7.9,81.1}}{0,01} = 4080 > Re_{gh} = 75$$

2- Theo định luật tương tự hình học chặt chẽ, thì $d = \frac{D}{\alpha_l} = \frac{10}{100} = 0,1mm$.

Độ lớn của vật liệu d = 0,1mm là độ lớn không dùng được do điều kiện xuất hiện lực dính giữa các hạt.

Ta phải mô hình hóa với sự thay đổi hệ số tỉ lệ hình học $\alpha_l/\alpha_h = n$.

3- Nếu lấy độ biến đổi nhỏ nhất n = 2, ta xác định được $\alpha_h = \alpha_{l/n} = 100/2 = 50$ và tỉ lệ mật độ tương đối:

$$\alpha_{\rho'} = \left(\frac{75}{Re_{tn}}\right)\left(\frac{h}{\sqrt{\alpha_l}}\right)^3 = \frac{75}{4080}\left(\frac{50}{\sqrt{100}}\right)^3 = 2,3$$

4- Hệ số tỉ lệ về độ lớn khi $\alpha_{\rho'} = 2,3$ là:

$$\alpha_d = \frac{1}{\sqrt[3]{\alpha_{\rho'}}}\left(\frac{Re_{tn}}{75}\right)^{2/3} = \frac{1}{\sqrt[3]{2,3}}\left(\frac{4080}{75}\right)^{2/3} \approx 10$$

5- Biết $\alpha_{\rho'} = 2,3$ và $\alpha_d = 10,0$, ta xác định được độ lớn $d = \frac{D}{\alpha_d} = \frac{10}{10} = 1mm$ và mật độ $\rho_m = \frac{1}{\alpha_{\rho'}}(\rho_{tn} - 1) + 1 = \frac{1}{2,3}(2,7 - 1) + 1 = 1,739$, tức là ứng với mật độ của bột nhựa thủy tinh.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

b) Mô hình hóa hiện tượng xâm thực

Hiện tượng xâm thực của dòng nước xuất hiện khi có áp suất gần với áp suất bão hòa hơi nước (xem bảng 15.3). Thời điểm xuất hiện xâm thực được đặc trưng bằng đại lượng phân giới của thông số xâm thực k_{pg} mà thường được viết dưới dạng số Ole.

Tùy theo mục đích và phương pháp nghiên cứu mà thông số xâm thực sẽ có dạng:

Khi mô hình hóa dòng có áp:

$$k_{pg} = \frac{p_\infty - p_v}{\rho \frac{V_\infty^2}{2}} \qquad (16\text{-}40)$$

trong đó: p_v - áp suất của hơi bão hòa;

p_∞, V_∞ - áp suất trung bình và vận tốc trong dòng chảy không bị kích động.

Khi mô hình hóa dòng chảy có mặt thoáng:

$$k_{pg} = \frac{p_o - p_{pg}}{\gamma \frac{V_i^2}{2g}} \qquad (16\text{-}40')$$

trong đó:

p_o - áp suất khí quyển bên ngoài;

p_{pg} - áp suất phân giới khi xuất hiện xâm thực trong dòng chảy;

V_i - vận tốc dòng chảy ở ngay trong khu chảy bao nguồn phát sinh xâm thực;

γ, g - trọng lượng thể tích của nước và gia tốc rơi tự do.

Khi xác định xâm thực trên mố nhám và khi nghiên cứu xâm thực bào mòn

$$k_{pg} = \frac{\overline{H} - H_{pg}}{\frac{V_i^2}{2g}} \qquad (16\text{-}40'')$$

trong đó:

$\overline{H} = H_o + H_i$ - trị số trung bình theo thời gian của áp suất tuyệt đối trong dòng chảy (H_o - áp suất khí quyển m cột nước; H_i - chiều sâu dòng chảy m);

H_{pg} - áp suất tuyệt đối trong dòng chảy khi xuất hiện xâm thực;

Các kí hiệu còn lại như cũ.

Khi $k > k_{pg}$ xâm thực không có; $k = k_{pg}$ - ứng với thời điểm đầu của xâm thực; $k < k_{pg}$ - đặc trưng cho sự có mặt của hiện tượng xâm thực.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Sự thay đổi áp suất tuyệt đối H_{pg} trong dòng chảy phụ thuộc vào tổ hợp các yếu tố lực khác nhau. Các yếu tố ngẫu nhiên làm méo mó cả các trường hợp nghiên cứu xâm thực đặc biệt, do đó phải đưa vào các hiệu chỉnh tỉ lệ $\Delta\eta_i$ tương ứng.

Các điều kiện mô hình hóa xâm thực theo thông số có xét đến hiệu chỉnh tỉ lệ được xác định bằng quan hệ:

$$k_{tn} = \Delta\eta_i k_m \tag{16-41}$$

Trong đó hiệu chỉnh tỉ lệ $\Delta\eta_i$ tùy theo các điều kiện mô hình hóa có thể là $\Delta\eta_1 = f_1(Re, We)$; $\Delta\eta_2 = f_2(Re, St)$; $\Delta\eta_3 = f_3(We, St)$; v.v...

Ví dụ, khi nghiên cứu xâm thực trong dòng chảy có mặt thoáng, phương trình tiêu chuẩn có dạng:

$$f\left(Fr, Ka, Re, We, \frac{\varepsilon}{H_t}\right) = 0$$

Do đó điều kiện mô hình hóa theo Frud có thể viết dưới dạng:

$$\left.\begin{aligned} Fr &= idem \\ \Delta\eta_1 &= f_1(Re, We) \end{aligned}\right\} \tag{16-42}$$

Trên cơ sở (16-40") ta viết:

$$\frac{\overline{H} - H_{pg}}{\frac{V_i^2}{2g}} = \frac{h - h_{pg}}{\frac{V_i^2}{2g}}\Delta\eta \tag{16-43}$$

Sau khi biến đổi, ta được:

$$\frac{\overline{H} - H_{pg}}{h - h_{pg}} = \Delta\eta\frac{V_i^2}{v_i^2} \text{ và } \frac{\overline{H} - H_{pg}}{\overline{h} - h_{pg}}\Delta\eta\alpha$$

Nếu thay các giá trị áp suất tuyệt đối $\overline{H} = H_o + H_i$ và $\overline{h} = h_o + h_i$ vào, thì:

$$h_o = \frac{1}{\alpha_l\Delta\eta}\left[\alpha_l\Delta\eta(h_{pg} - h_i) + H_i - H_{pg} + H_o\right] \tag{16-44}$$

hoặc theo các điều kiện mô hình hoá khi $h_{pg} = H_{pg}$:

$$h_o = \frac{1}{\alpha_l\Delta\eta}\left[H_{pg}(\alpha_l\Delta\eta - 1) + H_i(1 - \Delta\eta) + H_o\right] \tag{16-44'}$$

Việc nghiên cứu xâm thực nên tiến hành bằng cách mô hình hóa áp suất khí trời trong một máng thủy lực chân không đặc biệt.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Có thể không cần xét đến lượng hiệu chỉnh tỉ lệ dạng $\Delta\eta_l = f_1(Re, We)$ khi $Re > 10^6$, tức là có thể mô hình hóa trên các mô hình với tỉ lệ tương đối lớn[1]. Mặt khác, các điều kiện tự động mô hình ($\Delta\eta = 1$) khi mô hình hóa theo Frud sẽ được thực hiện khi số Vâybe có giá trị giới hạn:

$$We_{gh} = \frac{v\sqrt{l}}{C_m} = \frac{v_d^{1/2}}{\left(\frac{\sigma}{\rho}\right)^{1/2}} \qquad (16\text{-}45)$$

Khi $\sigma/\rho = const$ điều kiện này dẫn đến

$$v\sqrt{l} \geq N_{gh} \qquad (16\text{-}45')$$

Dùng các quan hệ $V/v = \sqrt{\alpha_l}$ và $L/l = \alpha_l$ (xem bảng 16.1), từ (16-45') ta xác định được tỉ lệ hình học tối thiểu có thể có ($\Delta\eta = 1$) của mô hình:

$$\alpha_l \leq \frac{V\sqrt{L}}{N_{gh}} \qquad (16\text{-}46)$$

Đại lượng N_{gh} phải được xác định bằng các thí nghiệm đặc biệt[2].

Nghiên cứu hiện tượng xâm thực đòi hỏi phải mô hình hóa áp suất tuyệt đối trong chất lỏng có xét đến hiệu chỉnh tỉ lệ (16-44') hoặc phải tiến hành thí nghiệm với vận tốc lớn ($v = 20 \div 30$ m/s) trên các thiết bị kích thước lớn.

---

[1] Theo số liệu của N. P. Rôzanôp $Re > 10^4$.

[2] Theo số liệu của I. I. Lêvi, $N_{gh} = 3 \div 4\ m^{1.5}/s$

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

MỤC LỤC

Trang

Lời nói đầu 5

Các thuật ngữ thường gặp trong các tài liệu về thủy lực 6

Các kí hiệu toán học 13

Chữ Hy Lạp 13

Chữ Latinh 14

Chương 1. Các bảng, các số liệu phụ

1.1. Khai phương và căn bậc ba của một số con số 15

1.2. Tích phân êliptic loại 1 15

1.3. Các đại lượng và hệ thức thường gặp 16

1.4. Giá trị của g ở một số nơi trên trái đất 17

1.5. Các hệ thống đơn vị đo lường cơ bản các đại lượng vật lí 18

1.6. Quan hệ giữa các đơn vị của hệ thống MKGS với hệ SI và các đơn vị của các hệ thống khác 21

1.7. Tỉ trọng của các loại chất lỏng δ 24

1.8. Trọng lượng của $1m^3$ các vật rắn 25

1.9. Mật độ và tỉ trọng 25

1.10. Độ nén ép 26

1.11. Đỗ dãn nở nhiệt độ 27

1.12. Độ nhớt 27

Chương 2. Áp lực thủy tĩnh

2.1. Áp suất thủy tĩnh tại một điểm và cách đo 30

2.2. Sơ đồ ống đo áp (áp kế nước), máy ép thủy lực và xilanh 32

2.3. Áp lực của chất lỏng lên một mặt phẳng 32

2.4. Áp lực của chất lỏng lên mặt cong 33

2.5. Áp lực thủy tĩnh lên cửa van công trình thủy lợi 36

2.6. Sự quay tĩnh của chất lỏng 42

2.7. Vật nổi 43

Chương 3. Những khái niệm cơ bản về chuyển động của chất lỏng

3.1. Lưu lượng, vận tốc trung bình và các yếu tố của mặt cắt ngang dòng chảy 45

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

3.2. Những dạng chuyển động cơ bản của chất lỏng 48
3.3. Phương trình Becnui chuyển động ổn định 49
3.4. Phương trình Becnui cho dòng nguyên tố của dòng chảy trong rãnh quay 52
3.5. Đường đo áp, đường năng lượng, độ dốc thủy lực và độ dốc đo áp 53
3.6. Năng lượng và công suất của dòng chảy 58
3.7. Sự phân bố áp suất thủy động trong dòng chảy 59
3.8. Dòng tia 60
3.9. Định luật động lượng hoặc xung lực 65

Chương 4. Sức cản thủy lực

4.1. Chuyển động tầng và rối của chất lỏng 69
4.2. Tổn thất cột nước dọc đường và phân bố vận tốc trên mặt cắt ngang của dòng chảy 70
4.3. Hệ số ma sát thủy lực khi chảy rối 72
4.4. Sức cản thủy lực cục bộ 88
4.5. Các hệ số sức cản trung khu bình phương sức cản dùng cho các tính toán sơ bộ (theo đề nghị của P. G. Kixêlep) 110

Chương 5. Chảy qua lỗ

5.1. Chảy tự do vào không khí 112
5.2. Ảnh hưởng của độ co hẹp của tia 114
5.3. Chảy ngập 116
5.4. Chảy khi thay đổi mức nước 118
5.5. Tính toán các lỗ cửa van (chảy dưới cửa van vào máng) 121
5.6. Vòi và ống ngắn (chảy qua lỗ trong thành dầy) 124
5.7. Tính toán ống xả nước trong đập 128
5.8. Sự tạo thành phễu khi chất lỏng chảy qua lỗ 131

Chương 6. Đập tràn

6.1. Các kí hiệu và công thức cơ bản 134
6.2. Các hình dạng cơ bản của luồng chảy 137
6.3. Đập tràn thành mỏng (đập sắc cạnh) 139
6.4. Đập tràn mặt cắt thực dụng 142
6.5. Đập tràn đỉnh rộng 158
6.6. Đập tràn xiên và đập tràn cong trên bình diện 166
6.7. Đập tràn tam giác và hình thang 168

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Chương 7. Các ống dẫn nước có áp

7.1. Các công thức và các hệ thức cơ bản 172
7.2. Chọn hệ số nhám khi thiết kế các đường ống có áp 174
7.3. Tính đường ống dẫn 176
7.4. Vận tốc không xói giới hạn cho phép theo các điều kiện về cường độ vật liệu của ống dẫn nước có áp 185
7.5. Sự thay đổi khả năng thoát nước của các đường ống có áp trong quá trình vận hành 186
7.6. Một số bài toán về tính toán ống dẫn nước có áp 188

Chương 8. Chuyển động đều trong các lòng dẫn hở (tính kênh)

8.1. Các công thức tính toán và các hệ thức cơ bản 193
8.2. Hình dạng mặt cắt ngang của kênh 194
8.3. Chọn hệ số nhám 195
8.4. Tính toán thủy lực các kênh mặt cắt hình thang 201
8.5. Tính toán thủy lực cho các kênh có mặt cắt khép kín. Hình dạng đặc biệt của mặt cắt ngang của các đường hầm 226

Chương 9. Chuyển động không đều trong lòng dẫn hở

9.1. Các phương trình cơ bản 237
9.2. Vẽ đường mặt thoáng của lòng dẫn lăng trụ 252
9.3. Chuyển động không đều trong kênh có độ sâu không đổi và có bề rộng thay đổi (phương pháp V.Đ. Jurin) 288
9.4. Chuyển động không đều trong kênh mặt cắt hình chữ nhật có chiều rộng thay đổi, dòng chảy hướng tâm (phương pháp O.F. Vaxilep) 293
9.5. Vẽ đường nước dâng trong sông thiên nhiên 294
9.6. Nước nhảy 305
9.7. Sự thay đổi độ dốc 313
9.8. Sự chia lưu lượng 317
9.9. Nối tiếp thượng - hạ lưu 323

Chương 10. Thủy lực công trình

A - Các trường hợp riêng của nước nhảy 338
10.1. Nước nhảy trong lòng dẫn nghiêng mặt cắt chữ nhật 338
10.2. Nước nhảy trong đường dẫn mặt cắt tròn 340
10.3. Nước nhảy không gian trong lòng dẫn lăng trụ 344

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

10.4. Nước nhảy trong lòng dẫn mở rộng dần 353
10.5. Nước nhảy trong lòng dẫn thu hẹp 356
10.6. Nước nhảy mặt trên sân tiêu năng tiêu nước nghiêng 361
B - Dốc nước. Bậc nước có nhiều bậc 362
10.7. Dốc nước có chiều rộng không đổi 362
10.8. Dốc nước có chiều rộng thay đổi 364
10.9. Dốc nước có độ nhám gia cường 366
10.10. Sự mất ổn định và sự hàm khí của đòng chảy trên dốc nước 369
10.11. Nối tiếp thượng - hạ lưu sau dốc nước 370
10.12 . Bậc nước nhiều bậc 371
C - Đường xả nước kiểu giếng 375
10.13. Đường xả nước kiểu giếng với giếng có áp thẳng đứng 375
D - Đường xả trước kiểu xi phông 391
10.14. Tính toán khả năng tháo của xiphông 391
10.15. Tính áp suất tại mặt cắt chỗ ngoặt 392
E - Khả năng thoát của các đường xả nước có áp và các đường thoát nước khác. Tính áp suất và vận tốc trong các mặt cắt tại chỗ ngoặt 396
10.16. Cột nước tác dụng 396
10.17. Độ chênh phục hồi, chiều sâu ngập của lỗ đáy 398
10.18. Tính toán khả năng thoát của đường xả nước có áp bố trí trên bậc 400
10.19. Tính toán áp suất và vận tốc tại các mặt cắt ở chỗ ngoặt của đường dẫn nước có áp 406
G - Nối tiếp thượng - hạ lưu của luồng phun tự do 411
10.20. Độ bay xa của luồng chảy 411
10.21. Góc nghiêng của luồng chảy không ngập tại tuyến có bậc 415
H - Nối tiếp thượng - hạ lưu của luồng chảy ngập sau đập có bậc và trạm thủy điện kết hợp 417
10.22. Các trạng thái phân giới và cách tính toán chung 417
10.23. Mặt thoáng và độ bay xa của luồng chảy bị ngập 427
10.24. Tính toán thủy lực phun xiết ở trạm thủy điện kiểu kết hợp 432
10.25. Độ chênh phục hồi 434
10.26. Phun xiết bằng đập tràn 436
10.27. Phun xiết khi xả nước qua đường xả nước có áp 440

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

I - Đổ vật liệu chặn dòng 444
10.28. Sự cân bằng của đá trong dòng chảy 445
10.29. Tính toán chặn dòng theo diện 446
10.30. Tính toán chặn dòng theo phương pháp hợp long 452

Chương 11. Chuyển động bùn cát. Vận chuyển bằng sức nước

11.1. Các khái niệm cơ bản và độ thô thủy lực 456
11.2. Chuyển động của bùn cát đáy và bùn lơ lửng 461
11.3. Vận tốc cho phép của dòng chảy trong kênh theo các điều kiện không xói 466
11.4. Các quan hệ tính toán vận tốc phân giới không lắng trong kênh 479
11.5. Sức tải của dòng có áp 484
11.6. Xác định sức cản thủy lực cho dòng có áp của hỗn hợp hai pha 486
11.7. Các bài toán cơ bản trong tính toán chuyển động có áp của hỗn hợp hai pha 497

Chương 12. Chuyển động của nước ngầm

A - Định luật cơ bản về thấm, các phương trình chuyển động, các công thức để vẽ đường mặt trước tự do 498
12.1. Định luật cơ bản về thấm 498
12.2. Các hệ thức cơ bản về chuyển động không áp của nước ngầm 502
B - Các trường hợp riêng của chuyển động nước ngầm 505
12.3. Sự chảy của nước ngầm vào giếng đứng 505
12.4. Thiết bị thoát nước nằm ngang 509
12.5. Dòng chảy đến hố móng trong thi công xây dựng 514
12.6. Thấm từ kênh 521
12.7. Thấm qua đập đất 524
12.8. Thấm dưới công trình thủy lợi 531
12.9. Thấm vòng quanh các công trình thủy lợi 553

Chương 13. Chuyển động của chất lỏng có lưu lượng thay đổi

13.1. Phương trình cơ bản 554
13.2. Dạng đường mặt nước tự do trong lòng dẫn hở 555
13.3. Các trường hợp riêng của chuyển động chất lỏng có lưu lượng thay đổi 557

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

Chương 14. Chuyển động không ổn định

A - Sóng do gió và tác động của chúng lên các công trình thủy lợi 574

14.1. Các đặc trưng cơ bản của sóng trong các bể chứa nước hở 574

14.2. Tác động của sóng lên tường thẳng đứng 578

14.3. Tác động của sóng lên tường dốc nghiêng lớn ($90^{o} > \alpha > 45^{o}$) 582

14.4. Tác động của sóng lên công trình loại mái dốc 583

14.5. Tác dụng của sóng lên các cọc đứng riêng lẻ 587

14.6. Tác động của sóng do gió gây ra lên các bờ dốc tự nhiên 588

14.7. Sóng trong kênh dẫn hở của trạm thủy điện 589

B - Nước va 597

14.8. Các đại lượng cơ bản 597

14.9. Những điều kiện ban đầu để tính toán nước va 598

14.10. Tính toán áp suất nước va bằng giải tích 600

14.11. Tính toán áp suất nước va bằng phương pháp đồ thị 611

C - Giếng điều áp 617

14.12. Các chỉ dẫn sơ bộ 617

14.13. Các cơ sở để tính toán thủy lực giếng điều áp 619

14.14. Xác định diện tích nhỏ nhất của giếng 622

4.15. Tính giải tích sự dao động của mực nước trong các giếng điều áp 623

14.16. Tính toán bằng đồ thị dao động mực nước trong các giếng điều áp 630

14.17. Tính toán dao động của mực nước trong giếng điều áp trong điều kiện giữ nguyên công suất của tổ máy 641

Chương 15. Các máy thủy lực

15.1. Tua bin 643

15.2. Máy bơm cánh 669

Chương 16. Mô hình hóa thủy lực

16.1. Các khái niệm cơ bản về mô hình hóa thủy lực 688

16.2. Lí thuyết Bơckingam (Định lí Pi) 691

16.3. Mô hình hóa dòng chảy trong ống có áp 696

16.4. Mô hình hóa dòng chảy đều trong lòng dẫn hở 699

16.5. Các vấn đề chuyên môn trong mô hình hóa thủy lực 701

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

SỔ TAY
TÍNH TOÁN THỦY LỰC

Chịu trách nhiệm xuất bản:
BÙI HỮU HẠNH

Biên tập: VŨ HỒNG THANH
Chế bản: TRẦN KIM ANH
Sửa bản in: VŨ HỒNG THANH
Trình bày bìa: VŨ BÌNH MINH

In 500 cuốn khổ 18 × 24cm, tại Xưởng in Nhà xuất bản Xây dựng. Giấy chấp nhận đăng kí kế hoạch xuất bản số 216-2008/CXB/01-18/XD ngày 7-3-2008. In xong và nộp lưu chiểu tháng 10/2008.

https://tieulun.hopto.org

www.thuvien247.net

SỔ TAY
TÍNH TOÁN THỦY LỰC



Sổ tay tính toán thuỷ lực
120309000023
110,000

6C2.3
XD - 2008
216 - 2008

Giá : 110.000đ

https://tieulun.hopto.org