

MỘT THUẬT TOÁN TÍNH TIÊU NƯỚC DO MƯA TRONG HỆ CỐNG NGẦM VÀ KÊNH RẠCH CHỊU ẢNH HƯỞNG TRIỀU

NGUYỄN TẮT ĐẮC

1. MỞ ĐẦU

Hiện nay ở trong nước cũng như nước ngoài việc dùng mô hình toán để tính toán dòng chảy và lan truyền chất trên mạng kênh sông đã trở nên phổ biến [2, 4-6] và các mô hình toán trong lĩnh vực này cũng khá hoàn thiện. Việc tính toán tiêu thoát nước mưa cho thành phố qua mạng cống ngầm cũng đã được biên soạn thành giáo trình hay sổ tay [3]. Tuy nhiên việc tính tiêu thoát nước mưa khi đổ vào kênh rạch có chịu ảnh hưởng triều và ngay việc tính thủy lực mạng kênh có nối với cống ngầm vẫn chưa được đề cập tới nhiều. Một hiện tượng được biết rất rõ là khi mưa to lại gặp triều cường trên mạng kênh rạch thì nước mưa khó tiêu thoát sinh ra ngập úng nhiều vùng; trường hợp này thường xuyên xảy ra với một số khu vực thuộc thành phố Hồ Chí Minh trong mùa mưa. Đã có tác giả [1] thử xây dựng mô hình tính toán nhưng chỉ xét được trường hợp chảy ngập trong cống ngầm và toàn bộ lượng mưa được xem như tập trung vào các miệng thu nước làm cho cột áp tại các miệng thu rất cao dẫn tới lưu lượng tiêu thoát rất lớn làm giảm đáng kể thời gian ngập lụt. Mặt khác với cách tính toán này không tính được sự ngập triều trong mạng cống ngầm khi không có mưa tại các vùng trũng. Trong bài báo này giới thiệu một mô hình tính toán dòng chảy trong mạng cống ngầm nối với mạng kênh rạch khi có mưa và không mưa trong vùng chịu ảnh hưởng của thủy triều. Lượng mưa qua một số yếu tố điều tiết như mái nhà, cây cối,... sẽ tập trung trên lưu vực (chẳng hạn đường phố) rồi mới chảy dần vào các miệng thu nước. Đối với thành phố thì mạng cống ngầm vừa tiêu thoát nước mưa vừa tiêu thoát nước thải cho nên trong trường hợp không mưa vẫn có một lớp nước trong đường cống và khi ngập triều thì có dòng chảy. Đặc điểm này đã được kể tới trong tính toán và quá trình tính trên máy tính không bị dừng khi không có mưa. Với thuật toán này một bộ chương trình tính trên máy PC đã được xây dựng mang tên CONG1093 và được áp dụng tính tiêu thoát nước mưa cho vùng Tân hóa - Lò gổm của thành phố Hồ Chí Minh. Độ sâu ngập lụt tính ra từ mô hình khá phù hợp với số liệu điều tra thực tiễn.

2. MÔ HÌNH TÍNH TOÁN

2.1. Mô hình thủy lực cho mạng kênh sông

Việc tính thủy lực trên mạng kênh sông đã được xét kỹ trong [2, 4-6]. Ở đây nhắc lại một số điểm được dùng ghép nối với phần tính trong đường cống ngầm được trình bày ở phần dưới. Chuyển động của triều trên mạng kênh sông được mô tả bởi hệ phương trình Saint-Venant một chiều

$$B \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{g|Q|Q}{C^2 AR} = 0 \quad (2.2)$$

trong đó $H(x, t)$ là mực nước thủy triều so với một cao trình chuẩn; $Q(x, t)$ là lưu lượng qua mặt cắt ngang kênh; g là gia tốc trọng trường; C là hệ số cản Chézy; R là bán kính thủy lực; q là lưu lượng gia nhập như bơm tưới, nước xả từ các nhà máy, nước thải sinh hoạt, nước mưa qua đường cống; $A(H)$ là diện tích mặt cắt ngang kênh; $B(x, t)$ là chiều rộng mặt kênh bao gồm cả vùng trữ nước; x là tọa độ trục kênh; t là thời gian.

Đối với hệ thống kênh thì tại các hợp lưu mực nước như nhau tại các mặt cắt thuộc các nhánh tiếp giáp với hợp lưu; tổng lượng nước tới bằng tổng lượng nước ra khỏi hợp lưu.

Sơ đồ sai phân ẩn 4 điểm có trọng số của Preissmann được áp dụng cho (2.1) - (2.2) trên đoạn $[i, i + 1]$ và ta thu được hệ phương trình sai phân sau đây cho các ẩn $H_i, Q_i, H_{i+1}, Q_{i+1}$

$$A_1 H_i + B_1 Q_i + C_1 H_{i+1} + D_1 Q_{i+1} = E_1 \quad (2.3)$$

$$A_2 H_i + B_2 Q_i + C_2 H_{i+1} + D_2 Q_{i+1} = E_2 \quad (2.4)$$

trong đó $A_1, B_1, C_1, \dots, D_2, E_2$ là các hệ số được xác định qua các giá trị đã biết ở lớp thời gian trước. Để giải hệ (2.3) - (2.4) cần biết hai điều kiện biên tại hai đầu nhánh (cho mực nước hoặc lưu lượng), tuy nhiên đối với một hệ kênh ta dùng công thức truy trướng

$$H_i = p_i Q_i + q_i H_{j_1} + r_i \quad (2.5)$$

$$Q_{i-1} = t_i Q_i + v_i H_i + z_i H_{j_1} + s_i \quad (2.6)$$

trong đó i chạy từ mặt cắt thứ 2 (j_2) đến mặt cắt cuối N (j_N) của nhánh; j_1 tương ứng với mặt cắt thứ nhất tại đó xem như đã biết mực nước. Các hệ số p, q, r, t, v, z, s (với chỉ số i) được gọi là các hệ số truy trướng, chúng được xác định qua các hệ số $A_1, B_1, \dots, D_2, E_2$ của (2.3) và (2.4) (xem chi tiết trong [2, 4]). Nguyên lý tính toán đối với một hệ sông là dùng (2.5) - (2.6) kết hợp với điều kiện bảo toàn lưu lượng tại hợp lưu khi các giá trị Q tại các mặt cắt áp sát hợp lưu, hệ phương trình còn lại chỉ chứa mực nước tại các hợp lưu (gọi là hệ phương trình nút). Giải hệ này ta có mực nước tại các hợp lưu, sau đó dùng lại (2.5) - (2.6) để giải cho từng nhánh sông. Nguyên lý này cũng được áp dụng cho mạng đường ống ngầm và mạng có cả đường ống ngầm nối với kênh rạch được trình bày dưới đây.

2.2. Mô hình thủy lực cho mạng đường ống ngầm

2.2.1 - Các quy luật chảy trong đường ống ngầm

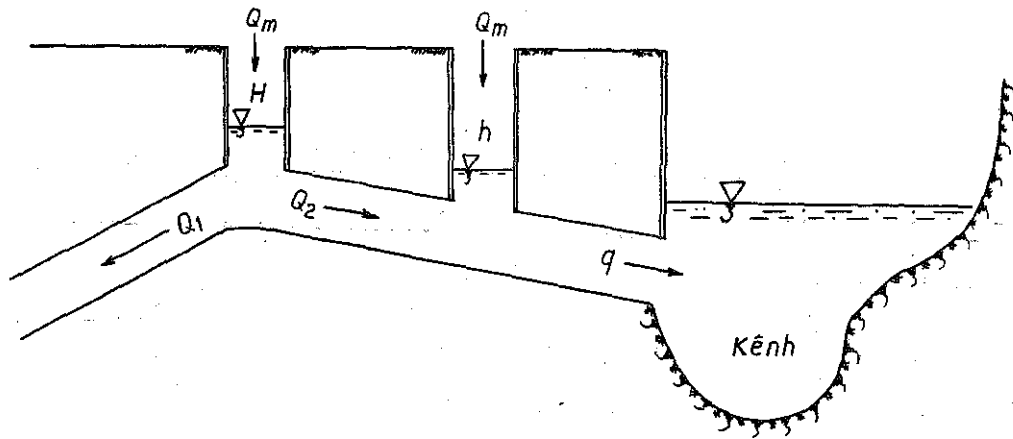
Đối với mạng đường ống ngầm thì tùy thuộc vào mực nước cột áp ở hai đầu ống mà ta có các quy luật chảy sau đây [3] (ta xem đường ống là tròn, đối với ống chữ nhật cách tính cũng tương tự nhưng với các hệ số khác).

Gọi H, h là mực nước cột áp ở hai đầu ống (hình 1), d là đường kính ống, L là chiều dài ống, j là độ dốc, m là hệ số lưu lượng và W là diện tích ống. Ta phân biệt các trường hợp sau đây:

a) Nếu $H \geq 1,15d$ và $j < Q^2 / (W^2 C^2 R)$ với C là hệ số Chézy, R là bán kính thủy lực. Với điều kiện này ta có dòng chảy ngập có áp tự do và không tự do

+ $h \geq d$: dòng chảy ngập có áp; trường hợp này lưu lượng chảy trong ống được tính từ công thức

$$Q = mW [2g(H + jL - h)]^{0,5} \quad (2.7)$$



Hình 1. Sơ đồ mạng đường ống kênh

+ Nếu $h < d$: chảy tự do, lưu lượng được xác định theo công thức:

$$Q = mW_r [2g(H + jL - 0,85d)]^{0,5} \quad (2.8)$$

trong đó W_r là diện tích ướt tại cửa ra và tất nhiên là hàm của h .

b) Nếu $H < 1,15d$ và $j > Q^2/(W^2C^2R)$ ta có hai trường hợp sau:

+ Nếu $h \geq 0,75d$: chế độ chảy bán áp, lưu lượng tính từ công thức:

$$Q = mW_r [2g(H + jL - 0,6667d)]^{0,5} \quad (2.9)$$

W_r cũng là diện tích ướt tại mặt cắt chảy ra và tất nhiên là hàm của h .

+ Nếu $h < 0,75d$: chế độ chảy không áp, lưu lượng được tính theo phương trình Saint-Venant như (2.1) - (2.2).

2.2.2. Việc nối mạng ống với nhau hoặc mạng ống với kênh

a) Nối mạng ống với nhau có cửa nhận mưa (hình 1): Giả sử có một lưu lượng Q_m (mưa hoặc triều trào lên mặt đất) đổ vào cửa nhận nước, lượng nước này có thể tiêu đi theo hai hướng (có thể nhiều hướng nếu tại đó có nhiều ống gặp nhau, nhưng thông thường là hai ống và ta lấy ví dụ hai ống, còn thuật toán được lập cho một số hữu hạn ống) như hình vẽ (có thể chảy đi hoặc đến tùy thuộc vào dấu + hoặc -). Từ luật bảo toàn lưu lượng ta có:

$$Q_m = Q_1 + Q_2 \quad (2.10)$$

b) Ống nối với mạng kênh: Gọi Q_3, Q_4 là lưu lượng trên kênh, q là lưu lượng từ ống chảy ra (hoặc chảy vào, và có thể có nhiều ống nhưng chỉ ví dụ có một ống), theo luật bảo toàn lưu lượng ta có:

$$Q_4 = Q_3 + q \quad (2.11)$$

2.2.3. Cách giải số đối với bài toán đường ống

Ta thấy rằng trong các công thức (2.7) đến (2.9) luôn có Q là hàm số của cột áp hai đầu ống: $Q = f(H, h)$, vì thế bằng cách lấy vi phân hệ thức này ta có:

$$Q - Q' = \frac{\partial f}{\partial H}(H - H') + \frac{\partial f}{\partial h}(h - h') \quad (2.12)$$

trong đó Q', H', h' là các giá trị của Q, H, h ở lớp thời gian trước. Chẳng hạn với (2.7) ta có:

$$Q - Q' = \frac{gm^2W^2(H + jL - h')}{Q'} [H - H' - h + h'] \quad (2.13)$$

Đối với (2.8) và (2.9) cũng thu được dạng tương tự. Như vậy, tại các điểm thu nước, hoặc tại điểm xả từ đường ống ra kênh ta đều có các liên hệ tuyến tính giữa Q và mực nước cột áp tại hai đầu ống hoặc mực nước tại điểm nối với kênh và mực nước cột áp một đầu ống. Sử dụng (2.10) hoặc (2.11) khử các giá trị của Q tại các cửa nhận nước, hoặc tại điểm xả ra kênh, cuối cùng ta thu được một hệ phương trình đại số tuyến tính trong đó các ẩn là mực nước tại các hợp lưu kênh sông, mực nước cột áp tại các cửa thu nước và tại các cửa xả ra kênh. Giải hệ này ta có mực nước cột áp tại hai đầu từng ống và từ đó có thể tính được lưu lượng qua từng đường ống theo các công thức nêu trên. Đối với các nhánh sông ta dùng (2.5) và (2.6) để tính mực nước và lưu lượng cho từng mặt cắt. Với cách tính này có kể được ảnh hưởng của mực nước trong kênh đến tiêu thoát nước mưa trong mạng đường ống và ngược lại. Trong mùa khô, tuy không có mưa, nhưng luôn có một lượng nước thải sinh hoạt hoặc công nghiệp chảy trong đường ống (chẳng hạn đối với thành phố Hồ Chí Minh lưu lượng này cỡ 5 đến 6m³/s) vì thế có thể xem rằng luôn có một lớp nước cỡ 2cm chảy trong ống. Đây là một cách xử lý để chương trình tính được liên tục.

2.2.4. Việc tính toán mưa

Một cách tự nhiên, mưa rơi trên một lưu vực qua một số yếu tố điều tiết như mái nhà, thảm phủ thực vật, các ngõ ngách nhỏ sau đó mới tập trung về các đường phố lớn, trũng và tập trung vào các cửa thu nước trên các đường phố đó. Tốc độ tiêu thoát phụ thuộc vào lưu lượng chảy vào các cửa thu mà lưu lượng này lại phụ thuộc vào diện tích miệng thu, độ chênh giữa cao trình ngập với cột áp từng cửa thu. Sau đây là một cách tính toán mà tác giả đề nghị dựa theo cách tính nêu trong [4, 6] về trao đổi nước giữa sông và ruộng.

Gọi Z là cao trình ngập (độ sâu ngập bằng cao trình ngập trừ đi cao trình mặt đất) trên một lưu vực có diện tích mặt là F (F là hàm của Z và được cho trước, việc phân lưu vực dựa trên các yếu tố địa hình). Gọi Q_m là lưu lượng mưa tới lưu vực sau một quá trình điều tiết (Q_m được tính từ các quy luật thủy văn [1]). q_i là lưu lượng chảy vào các miệng thu (hoặc từ miệng thu chảy lên lưu vực), nếu kí hiệu h_i là mực nước cột áp tại các miệng thu thì q_i là hàm của Z và h_i , diện tích của miệng thu dưới dạng $q_i = f(Z, h_i)$. Sự biến đổi của Z sẽ theo phương trình

$$F \frac{dZ}{dt} = Q_m + \sum q_i \quad (2.14)$$

Theo [6] để tính q_i có thể dùng các quy luật chảy qua công trình ở chế độ chảy ngập và chảy tự do, sử dụng lại cách tuyến tính hóa như (2.12) ta sẽ biến đổi (2.14) về dạng chỉ chứa Z và các h_i , ghép chúng vào hệ phương trình chứa mực nước tại các hợp lưu và cửa thu như đã nêu ở trên nhưng bây giờ có thêm cao trình ngập trên các lưu vực Z . Lưu ý rằng khi không có mưa thì $Q_m = 0$ nhưng q_i vẫn có thể khác không và do đó vẫn có biến đổi của Z như trường hợp ngập triều trong mạng ống với các vùng trũng.

3. VÍ DỤ ÁP DỤNG CHO VÙNG TÂN HÓA - LÒ GỐM TP HỒ CHÍ MINH.

Dựa trên thuật toán đã nêu một chương trình máy tính mang tên CONG1093 chạy trên máy PC đã được xây dựng và thử nghiệm cho một số bài toán thực, sau đây là bài toán tiêu thoát nước vùng Tân Hóa - Lò Gốm, một khu vực ngập úng điển hình của Tp Hồ Chí Minh. Theo số liệu của PV khí tượng thủy văn [1] các vùng ngập lụt đều ở tả ngạn kênh Tân Hóa - Lò Gốm, vùng bùng binh Minh Phụng gồm các đường chính như Hùng Vương, 3-2, Minh Phụng có độ sâu ngập từ 0,2 đến 0,7m, thời gian ngập từ 2 đến 8 giờ; vùng Phạm Đình Hổ - Mai Văn Thường có độ ngập 0,1-0,3m trong vòng 2-3 giờ. Để xét bài toán tiêu thoát nước cho vùng này đã xây dựng một sơ đồ tính gồm toàn mạng kênh rạch Tp Hồ Chí Minh, sông Đồng Nai, Sài Gòn, mạng kênh sông duyên hải từ Vũng Tàu trở vào. Mạng ống tiêu nước cho khu Tân Hóa - Lò Gốm gồm 112 đoạn ống với đường kính từ 0,6m đến 1,2m và có 43 điểm thu nước. Trận mưa tính toán kéo dài trong 4 giờ 30 phút và lưu lượng lớn nhất trên toàn lưu vực Lò Gốm đạt được sau khi

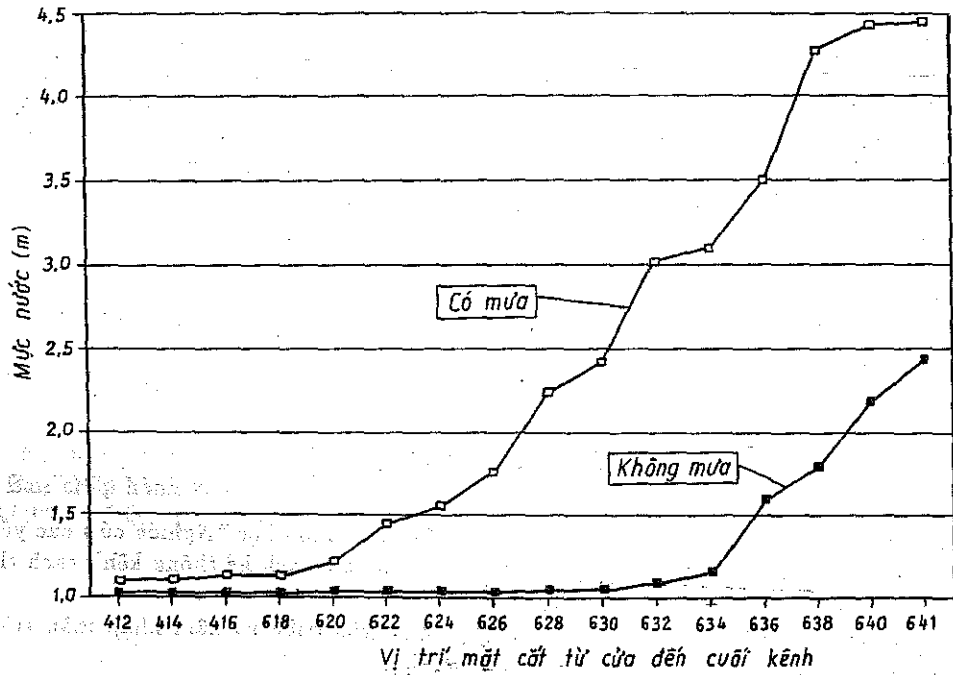
bắt đầu mưa 1 giờ là $174 \text{ m}^3/\text{s}$ sau đó giảm dần. Một số cửa thu nước phải đảm bảo tiêu với lưu lượng bình quân $9-10 \text{ m}^3/\text{s}$. Thời gian tính toán được chọn tương ứng với tháng 9/1991 là năm đặc trưng cho nhóm năm nhiều nước. Để xét điều kiện bất lợi đã chọn thời điểm xuất hiện đỉnh triều cao trùng với thời điểm xuất hiện mưa lớn nhất trên kênh Tân Hóa - Lò Gốm. Các kết quả tính toán chi tiết cho 34 trường hợp được trình bày trong [1].

Qua tính toán thấy rằng hầu như toàn vùng bị ngập vì khả năng tiêu thoát của mạng đường ống kém. Những nơi ngập sâu nhất từ 0,8 đến 1,0m. Thời gian ngập có thể kéo dài trên 10 giờ phù hợp với bản đồ ngập úng. Bảng dưới đây là ví dụ về kết quả tính toán độ sâu ngập tại một số nút trong ứng với hiện trạng và các phương án (pa_1, pa_2, pa_3, pa_4) cải tạo như nạo vét kênh mở rộng kênh, tăng kích thước ống hoặc phân khu chuyển nước về phía tây:

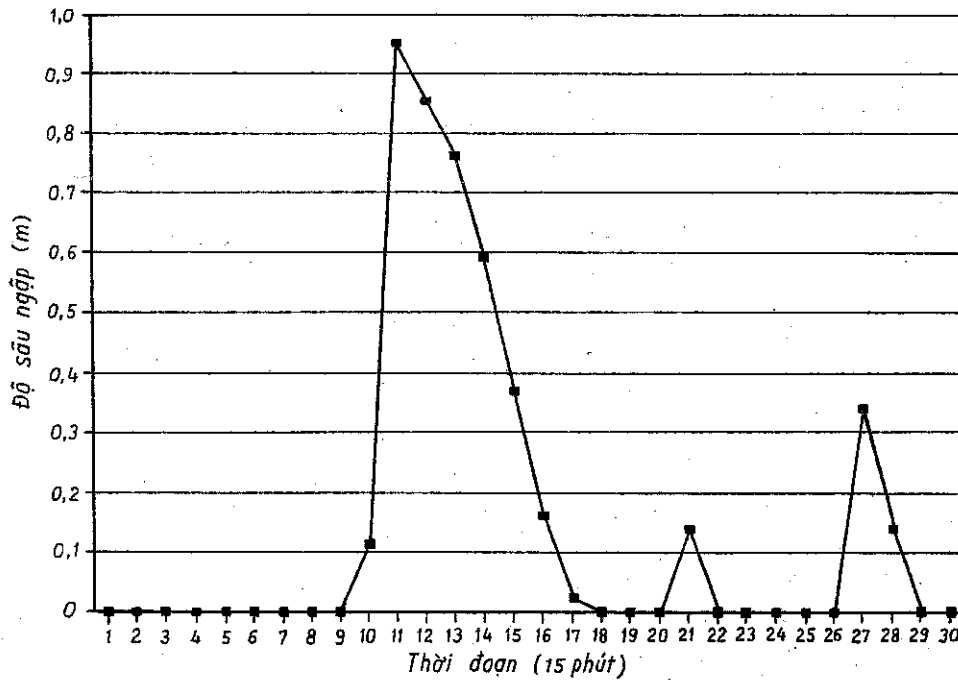
Max độ sâu ngập (mét) tại một số nút trong hiện trạng và ứng với các phương án cải tạo khác nhau:

Nút	Hiện trạng	pa_1	pa_2	pa_3	pa_4
159	0,61	0,45	0,40	0,29	0,19
160	0,36	0,30	0,28	0,18	0,17
161	0,23	0,20	0,19	0,13	0,12
166	1,00	0,97	0,96	0,28	0,28
167	0,93	0,80	0,75	0,46	0,15

Qua bảng này ta thấy bằng tính toán ta có thể có bức tranh (gần đúng ở mức độ chấp nhận được so với thực tiễn) về độ sâu ngập và sự biến đổi của bức tranh này khi có tác động cải tạo. Đây là kết quả quan trọng đưa ra từ mô hình. Hình 2 cho max mực nước dọc kênh Tân Hóa từ cửa kênh trở vào, từ đó có thể hình dung được bức tranh ngập dọc kênh. Hình 3 cho sự biến đổi của độ sâu ngập theo thời gian tại một điểm ký hiệu 163. Đây là điểm nằm sát kênh Tàu Hủ thuộc khu trung Quận 6. Độ ngập sâu nhất xấp xỉ 1,0m và thời gian ngập cỡ 2 giờ 30 phút. Lưu ý rằng do ảnh hưởng của triều và sự dồn ứ nước từ nơi khác tới ta thấy có lúc nước trời lên (như từ thời đoạn 20-22 và 26-29) rồi mới rút. Đây cũng là một kết quả thú vị rút ra từ mô hình



Hình 2. Max mực nước dọc kênh Tân Hóa - Lò Gốm khi không mưa và có mưa



Hình 3. Biến đổi của độ sâu ngập theo thời gian tại miệng thu ký hiệu 163

4. KẾT LUẬN

Trong khuôn khổ có hạn của một bài báo, trên đây đã trình bày những nét chính của thuật toán tính dòng chảy trong mạng đường ống ngầm nối với kênh rạch - một hệ thống dùng tiêu nước mưa trong thành phố. Trong thuật toán đã phản ánh được các chế độ chảy thực trong ống và kênh đặc biệt đối với vùng ảnh hưởng triều và vì vậy đã xét được sự úng nước mưa do triều và sự tương tác dòng chảy ống-ống và ống-kênh. Việc giới thiệu sơ lược kết quả áp dụng cho vùng Tân Hóa - Lò Gốm của Tp Hồ Chí Minh cho thấy khả năng áp dụng của mô hình trong việc giải quyết các bài toán thực tiễn.

Nghiên cứu này được sự tài trợ của đề tài Nghiên cứu cơ bản Quốc gia mang mã số 2.2.6.

Địa chỉ:

Viện Cơ học Ứng dụng Tp HCM

Nhận ngày 30/11/1994

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Ủy Ban Khoa học và Kỹ thuật Tp Hồ Chí Minh. Báo cáo Khoa học "Nghiên cứu các yếu tố cơ bản làm cơ sở khoa học cho công tác thiết kế cải tạo làm sạch hệ thống kênh rạch thành phố Hồ Chí Minh 10-1993
2. Nguyễn Tất Đắc. Mô hình toán học một chiều cho truyền triều và xâm nhập mặn trên hệ thống kênh sông, Luận án PTS toán lý, Hà Nội 1987.
3. Nguyễn Cảnh Cầm và nnk. Thủy lực, tập II, Nhà Xuất bản Đại học và Trung học chuyên nghiệp, Hà Nội 1978.

4. Nguyen Tat Duc. Mathematical model for flow salinity intrusion in canal network (computer program SAL1193), Tuyển tập công trình nghiên cứu khoa học và chuyển giao công nghệ, Viện Cơ học Ứng dụng, Kỷ niệm mười năm thành lập, 1984-1994.
5. J. A. Cunge, F. M. Holly, A. Verwey. Practical aspects of computational river hydraulics, Pitmann Advanced Publishing Program, London, 1980.
6. C. Flokstra Safflow. A Program to calculate one-dimensional channel flow including salinity, Delft Hydraulics, May 1989.

SUMMARY

AN ALGORITHM FOR COMPUTATION OF RAINFALL WATER DRAINAGE THROUGH UNDERGROUND PIPELINE AND CANAL NETWORK AFFECTED BY TIDE

It is given in this study an algorithm to calculate flow in underground pipelines connected to canal system affected by tide. The real flow regimes have been taken into computation. Pipelines and canals are considered as one unique system so their interaction has been included in the algorithm. Based on this algorithm a computer program named CONG1093 has been developed and applied to a real problem of rainfall water drainage in Tan Hoa - Lo Gom region, Ho Chi Minh city. The results of application shows practical application of the developed numerical model.

THÔNG BÁO SỐ 1 VỀ

HỘI NGHỊ CƠ HỌC VẬT RẮN BIẾN DẠNG TOÀN QUỐC LẦN V VÀ ĐẠI HỘI HỘI CHUYÊN NGÀNH CƠ HỌC VẬT RẮN BIẾN DẠNG LẦN III

Theo nghị quyết phiên họp ngày 8/2/1996 của Ban chấp hành Hội Cơ học VRBD, được sự đồng ý của Hội Cơ học Việt Nam. Hội nghị Cơ học VRBD toàn quốc lần thứ 5 (2 năm 1 lần) và Đại hội Hội chuyên ngành Cơ học VRBD lần thứ 3 (4 năm một lần) sẽ được tổ chức tại Hà Nội, dự kiến vào tháng 11/1996.

Hội nghị nhằm công bố kết quả, đánh giá và tổng kết các hoạt động về nghiên cứu, ứng dụng, đào tạo, chuyển giao công nghệ v.v... về cơ học VRBD từ 12/1994 đến nay và xác định phương hướng hoạt động cho thời gian tới, nhằm thực hiện mục tiêu công nghiệp hóa, hiện đại hóa đất nước.

Hội nghị còn là dịp để gặp gỡ, trao đổi thông tin về các hoạt động có liên quan đến cơ học VRBD.

Ban chấp hành Hội Cơ học VRBD mong nhận được sự hưởng ứng của các tổ chức, các hội viên, các cá nhân có quan tâm đến cơ học VRBD, bằng cách chuẩn bị tích cực để đăng ký báo cáo tại hội nghị và tham dự Hội nghị.

Các chi tiết về hội nghị sẽ được thông báo sau.

Đại hội Hội cơ học VRBD lần thứ 3 nhằm đánh giá các hoạt động của Hội trong 4 năm qua, đề ra nhiệm vụ cho nhiệm kỳ tới và bầu ban chấp hành nhiệm kỳ 1996-2000.

Ban chấp hành yêu cầu các cơ sở gửi danh sách hội viên về Ban tổ chức Đại hội trước ngày 30/7/1996, để kịp quy định số đại biểu đi dự Đại hội.

Hà Nội, ngày 10 tháng 2 năm 1996

Phó chủ tịch Hội Cơ học Việt Nam
Chủ tịch Hội Cơ học VRBD

GS TS Nguyễn Hoa Thịnh