MỘT SỐ KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU MÔ HÌNH DO VÀ BOD TRONG NƯỚC SÔNG

PTS. PHẠM TOÀN THẮNG
Trung tâm Môi trường

Việc mô hình hóa sự thay đổi DO (Dissolved Oxygen) trong nước sông chiếm phần lớn các công trình dành cho mô hình chất nước. Điều đó do hai nguyên nhân: một mặt DO là chỉ tiêu chung cho sự sống trong môi trường nước, mặt khác rất nhiều yếu tố nhiễm bẩn có tương tác với DO.

Một trong những chỉ tiêu nhiễm bẩn thông dụng nhất là BOD (Biochemical Oxygen Demand). BOD là nguyên nhân chính làm giảm hàm lượng DO trong nước và do đó làm sút kém chất lượng nước. Vì vậy, mô hình DO thường gắn với mô hình BOD và gọi chung là mô hình DO và BOD.

Hiện nay không thể kể hết các mô hình dành cho việc mô tả tương tác giữa DO và BOD. Tuy nhiên, theo đánh giá của M.B. Beck, công trình nghiên cứu của hai nhà khoa học E. Streeter và E. Phelps được coi là kinh điển, có ảnh hưởng quyết định đến lịch sử phát triển của các mô hình DO và BOD. Mô hình Streeter — Phelps tương đối đơn giản, dễ áp dụng. Song do nó chỉ thích hợp cho điều kiện dòng chảy đều, nên nhiều tác giả khác đã hoàn thiện và phát triển nó để có thể mô phỏng được tình hình DO và BOD trong nước sông với các đặc điểm riêng biệt nào đó về chế độ chảy, về quá trình bồi lắng hoặc bào mòn lòng dẫn; về quá trình quang hợp và hô hấp của thực vật thủy sinh. Điển hình là các mô hình của W.E. Dobbins (1964), W.D.Hansen và R.J. Frankel (1965) v.v. Nhưng càng mô tả tỉ mỉ các quá trình ảnh hưởng đến DO và BOD xảy ra trong dòng nước thì càng gặp khó khăn trong việc xác định các thông số của mô hình. Chính vì vậy cho đến nay người ta vẫn thường dùng mô hình Streeter — Phelps cho việc phân tích đánh giá, dự báo chất lượng nước.

Trong hoàn cảnh công tác kiểm soát nhiễm bẩn môi trường còn mới mẻ, chúng tôi đã nghiên cứu áp dụng mô hình Streeter – Phelps và Thomas cho các dòng chảy ổn định. Bên cạnh đó chúng tôi cũng nghiên cứu thử nghiệm mô hình phân rã cho các dòng chảy không ổn định có nhiều nguồn thải.

1. Áp dụng mô hình Streeter–Phelps và Thomas

Đối với nước sông vùng không ảnh hưởng thủy triều, giả thiết phản ứng sinh hóa tiêu thụ oxy là phản ứng đơn phân tử, ta có phương trình

$$\frac{dL}{dt} = -K_1 L \qquad (1)$$

Giải phương trình này sẽ thu được nghiệm

$$L = L_o e^{-K_1 t} \qquad (2)$$

trong đó K_1: hệ số tốc độ tiêu thụ oxy (1/ngày).

L_o, L (mg/l): BOD ở mặt cắt ban đầu và mặt cắt cách đó một đoạn khiến dòng nước phải chảy mất một thời gian t với vận tốc v.

Đối với trạng thái chảy đều ta có phương trình vi phân cho độ thiếu hụt bão hòa D (mg/l)

$$\frac{dD}{dt} = K_2 D - K_1 L \qquad (3)$$

Giải phương trình này thu được nghiệm

$$D = \frac{K_1}{K_2 - K_1} L_o (e^{-K_1 t} - e^{-K_2 t}) + D_o e^{-K_2 t} \qquad (4)$$

trong đó D_o, D là độ thiếu hụt bão hòa oxy ở mặt cắt ban đầu và mặt cắt cần tìm còn K_2 là hệ số tốc độ xâm nhập oxy (1 ngày).

Nếu lưu ý rằng $t = \frac{x}{v}$ ta có thể thấy rằng phương trình trên cho phép xác định độ thiếu hụt bão hòa oxy (do đó xác định được nồng độ DO) ở mặt cắt bất kỳ theo chiều dài sông. Các phương trình của Streeter - Phelps nói trên được sử dụng rộng rãi để đánh giá và dự báo nhiễm bẩn nguồn nước. Người ta còn dùng mô hình Streeter—Phelps nhằm xác định lượng tải chất bẩn tối đa được phép để nước sông có thể duy trì nồng độ DO ở một giới hạn nào đó.

$$\lg L_A = \lg D_c + \left[1 + \frac{K_1}{K_2 - K_1}\left(1 - \frac{D_A}{D_c}\right)^{0,418}\right] \lg \frac{K_2}{K_1} \qquad (5)$$

trong đó

D_c – độ thiếu hụt bão hòa cho phép (mg/l)

L_A – BOD tối đa được phép (mg/l)

D_A – độ thiếu hụt bão hòa ban đầu (mg/l)

Trong mô hình Streeter – Phelps cần phải đo đạc, xác định các thông số cơ bản sau:

– Nhiệt độ nước sông

– Diện tích các mặt cắt, độ rộng, độ sâu

– Tốc độ dòng chảy trên sông

– Lưu lượng nước thải, nước sông

– Khoảng cách giữa các mặt cắt

– Thời gian chảy truyền

– Hệ số tốc độ tiêu thụ oxy K_1

— Hệ số tốc độ xâm nhập oxy K_2

– BOD toàn phần và DO ở mặt cắt số không.

Thomas đã phát triển mô hình Streeter – Phelps bằng cách dựa vào hệ số K_3 nói lên mức độ bồi lắng hoặc bào mòn lòng dẫn. Khi $K_3 = 0$ mô hình Thomas trở thành mô hình Streeter — Phelps. Trong các thông số nói trên, khó xác định nhất là các giá trị K_1 và K_2. Trong khuôn khổ của bài báo, chúng tôi chỉ trình bày cách xác định $K_1.K_2$ của chúng tôi mà thôi.

Xác định K_1, K_3.

Với mô hình Streeter — Phelps, K_1 được xác định bằng công thức

$$K_1 = \frac{1}{t} \lg \frac{L_A}{L_B} \qquad (6)$$

t – thời gian nước chảy từ mặt cắt A đến mặt cắt B (ngày)

L_A, L_B – BOD toàn phần của mặt cắt A và mặt cắt B (m//l).

Với mô hình Thomas, trong trường hợp nhận thấy giá trị K_3 không thể bỏ qua, có nghĩa là vai trò của bồi lắng hoặc bào mòn lòng dẫn không thể bỏ qua thì K_1 được xác định theo phương pháp phòng thí nghiệm. Nội dung của phương pháp này như sau: điền các giá trị BOD_1, BOD_2, BOD_3... lên đồ thị với trục tung là các giá trị BODx, trục hoành là số ngày x ta sẽ thu được đường cong biểu diễn sự thay đổi BOD theo thời gian. Dùng đường cong này để xác định BOD toàn phần giai đoạn 1. Sau đó lập đồ thị khác, trục tung ghi BOD còn lại sau các ngày, trục hoành ghi thời gian sẽ được đường thẳng có độ dốc bằng giá trị K_1. Sau khi đã xác định được K_1 rồi thì giá trị K_3 sẽ được xác định từ tài liệu thực đo

$$K_3 = \frac{1}{t} \lg \frac{L_A}{L_B} - K_1 \qquad (7)$$

Theo Thomas thì K_3 biến đổi trong phạm vi từ $-0{,}36$ đến $+0{,}36$. Nếu có sự lắng K_3 sẽ nhận giá trị dương, nếu có sự bào mòn lòng sông, K_3 sẽ nhận giá trị âm. Điều đó rất thuận lợi cho việc tính K_3.

Trong thực hành có thể tính các giá trị K_1 ở nhiệt độ bất kỳ theo giá trị K_1 ở 20°C theo phương trình

$$K_1(T) = K_1(20°C) \cdot 1{,}047^{(T-20)} \quad (8)$$

Xác định K_2

K_2 được xác định theo hai phương pháp:

Phương pháp 1: xác định theo tài liệu thực đo (công thức Streeter – Phelps).

$$K_2 = K_1 \frac{\overline{L}}{\overline{D}} - \frac{D}{2.3\,\Delta t \cdot \overline{D}} \quad (9)$$

Trong công thức này:

$\overline{L}$ – BOD toàn phần trung bình giữa hai mặt cắt A và B (mg/l)

$\overline{D}$ – độ thiếu hụt bão hòa oxy trung bình giữa hai mặt cắt A và B (mg/l)

ΔD – chênh lệch độ thiếu hụt bão hòa oxy giữa hai mặt cắt A và B(mg/l).

Δt – thời gian nước chảy từ mặt cắt A đến mặt cắt B (ngày).

Phương pháp 2: xác định theo tài liệu thủy văn

$$K_2 = c \frac{(D_L \cdot v)^{0,5}}{H^{1,5}} \quad (10)$$

trong đó:

D_L – hệ số khuyếch tán phân tử. Ở 20°C, $D_L = 1944 \cdot 10^{-6} ft^2/ngày$

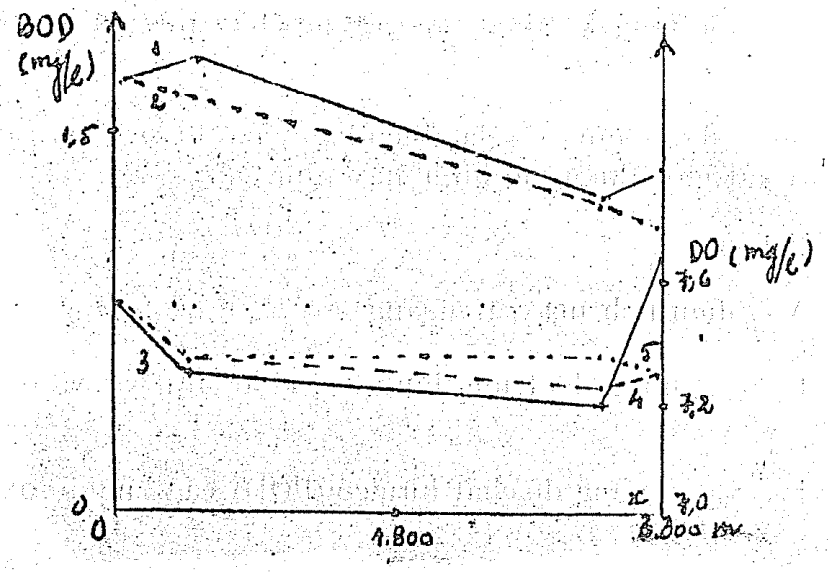
v – tốc độ trung bình dòng nước (ft/s)

c – hằng số, phụ thuộc vào từng đoạn sông cụ thể cũng như chất nước thải.

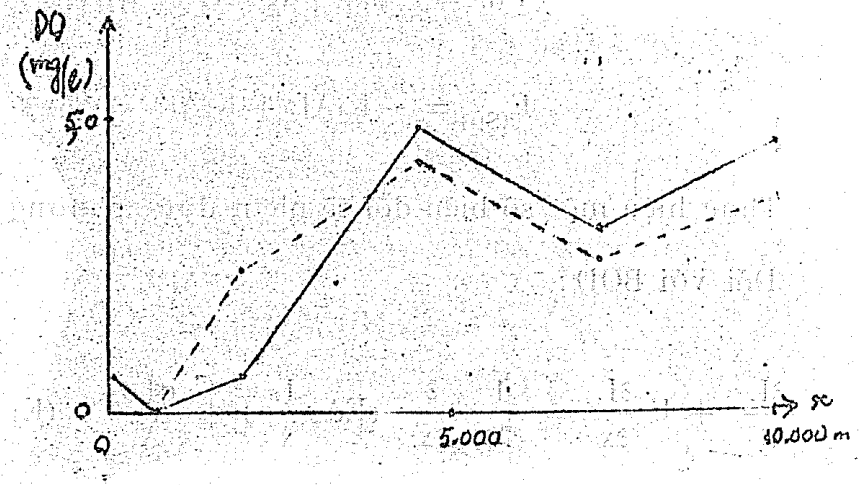
Nếu xác định được đầy đủ các thông số có thể tính được các giá trị BOD và DO ở mặt cắt bất kỳ theo dọc sông. Chúng tôi cũng đã thu được một số kết quả đo đạc và tính toán BOD và DO theo mô hình Streeter – Phelps và Thomas đối với nước sông Cầu đoạn chảy qua thành phố Thái Nguyên và một số đoạn trên sông Tô Lịch ở Hà Nội. Trên các đoạn sông này, có đủ điều kiện để áp dụng các mô hình kể trên (dòng chảy coi như đều, không có nhiều nguồn thải bổ sung dọc đường...). Riêng đối với sông Cầu do $K_3 = 0$ nên mô hình Thomas trùng với mô hình Streeter – Phelps. Hình 1 giới thiệu một ví dụ về các kết quả đo đạc và tính toán theo mô hình Streeter – Phelps cho nước sông Cầu.

2. Áp dụng mô hình phân rã

Các mô hình Streeter – Phelps và Thomas chỉ thích hợp cho dòng chảy đều. Trong công tác điều tra nhiễm bẩn thường người ta quan tâm nhiều đến



Hình 1. Các kết quả đo đạc và tính toán theo mô hình Streeter — Phelps — Sông Cầu (Thái Nguyên) 13/XI/1980 (đường 1 — BOD thực đo, 2—BOD tính toán; 3—DO thực đo; 4—DO tính toán với K_2 tính theo Streeter — Phelps, 5 - DO tính toán với K_2 tính theo O Co nor — Dobbins,)



Hình 2. Các kết quả đo đạc và tính toán theo mô hình phân rã, Sông Tô Lịch (Hà Nội) 18/XII/1985.

tình hình nước thải về mùa kiệt. Trong mùa này trên đại bộ phận sông nhỏ dòng chảy có thể coi là đều. Vì vậy, chúng được áp dụng khá rộng rãi. Tuy nhiên, với các dòng chảy không đều, lượng nước thải cũng như lượng nước sông thay đổi đáng kể theo chiều dòng chảy thì cần có sự phát triển mở rộng các mô hình kinh điển.

Bước đầu chúng tôi đã thử nhiệm mô hình phân rã của Viện Cơ học. Có thể toán tắt giới thiệu mô hình này như sau:

Nếu gọi:

A – diện tích mặt cắt ngang

L, S_D – nồng độ trung bình của chất hữu cơ và oxy truyền qua mặt cắt ngang

L_q, S_{qD} – nồng độ chất hữu cơ (BOD) và nồng độ oxy bổ sung dọc đường chảy.

q, Q – lưu lượng bổ sung và lưu lượng ban đầu.

U – vận tốc trung bình dòng nước

E – hệ số tán xạ dọc

$F_{(L)}$, $F_{(S_D)}$ – số hạng đặc trưng cho sự thay đổi L và S_D.

Ta có:

$$F_{(L)} = -(K_1 + K_3) AL + qL_q \tag{11}$$

$$F_{(S_D)} = -K_1AL + K_2A(S_o - S_D) + qS_{qD} \tag{12}$$

Thực hiện một số biến đổi sẽ nhận được phương trình mô tả sau:

Đối với BOD:

$$\frac{\delta L}{\delta t} + U\frac{\delta L}{\delta x} = \frac{1}{A}\frac{\delta}{\delta x}\left(EA\frac{L}{x}\right) + \frac{qL_q}{A} - (K_1 + K_3)L - \frac{qL}{A} \tag{13}$$

Đối với DO:

$$\frac{\partial S_D}{\partial t} + U\frac{\partial S_D}{\partial x} = \frac{1}{A}\frac{\partial}{\partial x}\left(EA\frac{\partial S_D}{\partial x}\right) + K_2(S_o - S_D) - K_1L + \frac{q}{A}S_{qD} -$$

$$- \frac{q}{A}S_D \tag{14}$$

Với sông vùng không ảnh hưởng thủy triều số hạng tán xạ dọc thường được bỏ qua, khi đó ta có:

$$\frac{\partial L}{\partial t} + U\frac{\partial L}{\partial x} = -(K_1 + K_3 + \frac{q}{A})L + \frac{q}{A}L_{qD} \quad (15)$$

$$\frac{\partial S_D}{\partial t} + U\frac{\partial S_D}{\partial x} = K_2(S_o - S_D) - K_1 L - \frac{q}{A}S_D + \frac{q}{A}S_{qD} \quad (16)$$

Trên đường đặc trưng $\frac{\partial x}{\partial t} = U$, hai phương trình này được viết lại như sau:

$$\frac{dL}{dt} = -(k_1 + K_3 + \frac{q}{A})L + \alpha \quad (17)$$

$$\frac{dD}{dt} = -KL - (K_2 + \frac{q}{A})D + \beta \quad (18)$$

trong đó $\alpha = \frac{q}{A}L_q$

$$\beta = \frac{q}{A}D_{qD}$$

$D = S_o - S_D$ (độ thiếu hụt bão hòa)

Từ (17) và (18) thấy rằng nếu lưu lượng bổ sung $q = 0$, dòng chảy đều thì mô hình phân rã sẽ trở thành mô hình Streeter – Phelps và Thomas. Dĩ nhiên việc tính toán theo mô hình phân rã tức là tính toán cho điều kiện dòng chảy không đều và có các nguồn bổ sung theo chiều dài dòng chảy khó khăn hơn. Việc xác định các thông số của mô hình phân rã cũng sẽ phức tạp hơn. Với mục đích thử nghiệm chúng tôi đã áp dụng mô hình này cho sông Tô Lịch (hình 2). Kết quả bước đầu cho thấy mô hình có triển vọng tốt. Mô hình này có thể dùng để tính toán nhiễm bẩn cho các sông mà điều kiện dòng chảy không cho phép áp dụng các mô hình Streeter – Phelps và Thomas.

TAI LIỆU THAM KHẢO

1. Mô hình toán học kiểm soát nhiễm bẩn nước. NXB «Hòa Bình» Matxcơva, 1987.

2. Phạm Toàn Thắng. Mô hình kiểm soát và dự báo nhiễm bẩn môi trường nước. Đề tài nghiên cứu trong chương trình 42 – A.

3. I. Borodavtrenco. N.B. Zarubaev, V.X. Valliev, Kh. D. Vilner, S.V Zacovlev. Bảo vệ tài nguyên nước. NXB «Hòa Bình», Matxcơva, 1979.