



XÂY DỰNG MÔ HÌNH TÍNH TOÁN CHẤT LƯỢNG NƯỚC SÔNG MƯƠNG THOÁT NƯỚC ĐÔ THỊ

Trần Đức Hạ¹

Tóm tắt: Quá trình tự làm sạch trong sông, mương thoát nước đô thị bao gồm các yếu tố pha loãng và phân hủy các chất ô nhiễm trong đó. Một mô hình ổn định một chiều được đề xuất để tính toán chất lượng nước sông mương thoát nước đô thị. Trong mô hình này chỉ tiêu BOD được sử dụng làm thông số tính toán. Mô hình có thể ứng dụng để đánh giá và dự báo chất lượng nước cũng như đề xuất các giải pháp cải thiện môi trường nước sông thoát nước đô thị.

Từ khóa: Mô hình tính toán; BOD; chất lượng nước; sông thoát nước.

Summary: A self-cleaning process of urban drainage rivers includes the dilution and degradation of pollutants in it. The stable one-dimensional model is proposed to calculate a water quality of urban drainage rivers. In this model BOD is used as a parameter of calculation. The model can be applied to evaluate and predict water quality as well as proposed solutions to improve water environment of urban drainage rivers.

Keywords: Mathematical model; BOD; water quality; drainage river.

Nhận ngày 20/7/2015, chỉnh sửa ngày 3/8/2015, chấp nhận đăng 30/9/2015



1. Giới thiệu chung

Các kênh, mương và sông đóng vai trò quan trọng trong hệ thống hạ tầng đô thị, đảm nhận vai trò vận chuyển nước, cải thiện môi trường và là khung sinh thái đô thị. Tuy nhiên, do tiếp nhận nước mưa và nước thải chưa xử lý, các sông, kênh, mương như là tuyến thoát nước cấp 1 và đang bị ô nhiễm nặng nề. Nhiều dự án thoát nước và vệ sinh môi trường đang và được triển khai, trong đó nội dung trọng tâm là cải thiện chất lượng nước sông, kênh, mương và hồ đô thị. Nước thải được thu gom bằng cống bao về nhà máy xử lý nước thải (XLNT). Về mùa mưa, một phần hỗn hợp nước mưa và nước thải xả qua cống tràn (CSO) ra sông mương [6,8]. Tuy nhiên, về mùa khô, khi nước thải không chảy vào, các thủy vực này trở thành nguồn nước mặt tù đọng, khả năng tự làm sạch bị giảm sút.

Trong nhiều dự án thoát nước và vệ sinh môi trường đô thị, hầu hết nước thải trong lưu vực thoát nước được thu gom. Tuy nhiên, còn một số nguồn xả thải như: nhà hàng, quán ăn, các cụm dân cư nhỏ, ... dọc sông, mương không thể thu gom và kiểm soát được. Mặt khác các quá trình nội sinh trong sông, mương do dòng chảy chậm về mùa khô (quang hợp, phân hủy xác sinh vật chết, ...) hình thành thêm một lượng hữu cơ. Các yếu tố này tạo nên lượng chất bẩn bổ sung trong sông, mương [1,2,3].

Các chất ô nhiễm trong sông, mương sẽ tự làm sạch do quá trình pha loãng và chuyển hóa. Tuy nhiên, hiệu quả tự làm sạch phụ thuộc rõ rệt vào vận tốc dòng chảy và quá trình pha loãng nước sông với nước thải [3]. Nước thải sau xử lý từ các nhà máy XLNT tập trung khi đổ vào sông, mương sẽ pha loãng các chất ô nhiễm, tạo dòng chảy, góp phần tăng cường oxy, làm cho khả năng tự làm sạch nước nguồn tiếp nhận nâng cao. Trong một số nghiên cứu về quy hoạch thoát nước đô thị, ý tưởng đưa nước thải đô thị sau xử lý để thau rửa và tạo dòng chảy lớn cho sông, mương và hồ trong thành phố đã được đề xuất [6].

Trong nước thải đô thị, nước thải sinh hoạt và các loại nước thải khác có thành phần tương tự chiếm tỉ lệ lớn, từ 70 đến 85% tổng lượng nước thải [6,8]. Do tại Việt Nam hệ thống thoát nước là cống chung có bề tự

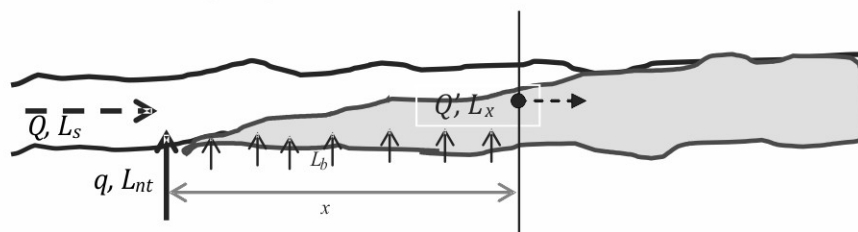
¹PGS.TS, Khoa Kỹ thuật Môi trường, Trường Đại học Xây dựng. E-mail: hatd@nuce.edu.vn.

hoại nên hàm lượng SS (chất rắn lơ lửng) thấp, các chất hữu cơ chủ yếu là pha lỏng và không cao. Trong vực nước mặt, BOD (như cầu ô xy sinh hóa), đặc trưng cho các chất hữu cơ dễ oxy hóa sinh hóa, là một trong những thông số chỉ thị môi trường quan trọng vì nó liên quan mật thiết đến hàm lượng oxy hòa tan DO (Disolved Oxygen), yếu tố sinh thái tới hạn của vực nước mặt [2]. Về mùa khô khi thu gom nước thải về nhà máy XLNT tập trung nguy cơ cạn nước sông hồ đô thị là hiện hữu, vì vậy việc tính toán xác định chất lượng nước sông theo chỉ tiêu BOD và lượng nước sạch cũng như nước thải sau xử lý để bổ cập cho sông, kênh, mương và hồ đô thị là rất cần thiết.

Với lưu lượng và nồng độ chất ô nhiễm trong nước nguồn và nước thải xả vào đó ổn định thì có thể dùng các mô hình ổn định một chiều để kiểm soát chất lượng nước sông mương. Do tiếp nhận nước thải đô thị nên thông số BOD thường được dùng làm chỉ tiêu để đánh giá chất lượng nước.

2. Cơ sở lý thuyết của mô hình và quy trình tính toán

Khi sông với dòng chảy ổn định tiếp nhận nguồn nước thải từ trạm XLNT tập trung xả vào, sự phát tán và chuyển hóa chất ô nhiễm trong sông được thể hiện theo sơ đồ nêu trên Hình 1.



Hình 1. Sơ đồ lan truyền và chuyển hóa chất ô nhiễm trong dòng chảy sông sau khi tiếp nhận nước thải

Ghi chú: Q và, L_s - lưu lượng và BOD trong nước sông trước điểm xả nước thải; q và L_{nt} - lưu lượng và BOD của nước thải xả vào sông; Q' và L_x - lưu lượng và BOD trong dòng hỗn hợp nước thải và nước sông sau điểm xả khoảng cách x; L_x - lượng BOD bổ sung trên đoạn sông chiều dài x.

Với dòng chảy sông và nguồn xả thải ổn định như Hình 1, quá trình tự làm sạch (lan truyền và chuyển hóa các chất ô nhiễm) của dòng chảy sông được biểu diễn bằng mô hình ổn định một chiều:

$$v_x \frac{\partial C}{\partial x} - E_x \frac{\partial^2 C}{\partial^2 x} + K_1 C = 0 \quad (1)$$

trong đó: C là nồng độ chất ô nhiễm; x là khoảng cách tính toán tính từ điểm xả nước thải; v_x là vận tốc dòng chảy sông tại vị trí x; E_x là hệ số khuếch tán rối theo phương x và K_1 là hằng số chuyển hóa (theo phản ứng bậc 1) của chất ô nhiễm trong sông.

Theo Rodziner I.D., 1985 [3] và Trần Đức Hạ, 1991 [1], nếu C là chất hữu cơ tính theo BOD₅ sẽ ký hiệu là L. Phương trình tổng quát sẽ là:

$$L_t = L_s \cdot 10^{-K_{1,s}t} + \frac{1}{n} (L_{nt} - L_s) \cdot 10^{-K_{1,h}t} + L_b \quad (2)$$

trong đó: L_t là nồng độ BOD₅ lớn nhất trong dòng hỗn hợp nước sông và nước thải xả vào tương ứng với thời gian dòng chảy t từ điểm ban đầu đến khoảng cách tính toán x; $K_{1,s}$ và $K_{1,h}$ là các hệ số chuyển hóa chất ô nhiễm hữu cơ theo BOD (hằng số tốc độ oxy hóa sinh hóa chất hữu cơ) trong nước sông thoát nước và trong dòng hỗn hợp nước sông và nước thải, d^{-1} .

Đặc trưng cho quá trình pha loãng nước thải trong sông là số lần pha loãng n và hệ số pha loãng y. Hệ số pha loãng là tỉ lệ lượng nước sông bị ô nhiễm Q' và lượng nước thải xả vào trong đoạn sông q đến điểm tính toán x và biểu diễn bằng biểu thức:

$$n = \frac{Q' + q}{q} \quad (3)$$

hoặc biểu thức:

$$n = \frac{C_{nt} - C_s}{C_x - C_s} \quad (4)$$

trong đó: C_{nt} , C_s và C_x là nồng độ chất ô nhiễm bền vững (không bị phân hủy theo thời gian) trong nước thải, trong nước sông trước khi tiếp nhận nước thải và trong dòng hỗn hợp nước sông và nước thải sau khoảng cách xả thải x .

Hệ số pha loãng γ là tỉ lệ giữa lượng nước sông bị ô nhiễm tại vị trí x là Q' và tổng lượng nước sông ở đây ($\gamma = Q' : Q$) và xác định như sau:

$$\gamma = \varphi \cdot \xi \cdot \sqrt[3]{\frac{E_x}{q}} \quad (5)$$

trong đó: ξ là hệ số phụ thuộc vào cách xả nước thải vào dòng chảy sông; φ là hệ số đặc trưng cho hình thái sông, xác định theo biểu thức:

$$\varphi = \frac{x}{X} \quad (6)$$

trong đó: x là chiều dài theo đường thẳng từ điểm ban đầu đến điểm tính toán.

Đối với sông thoát nước dòng chảy ổn định thì E_x , hệ số khuếch tán rối theo phương x xác định như sau:

$$E_x = \frac{v \cdot H}{200} \quad (7)$$

trong đó: v là vận tốc trung bình dòng chảy trong sông, m/s, có thể sơ bộ xác định theo biểu thức:

$$v = C_s \cdot \sqrt{R \cdot J} \quad (8)$$

trong đó các đại lượng C_s là hệ số Che'zy, $m^{1/2}/s$; R là bán kính thủy lực của dòng chảy, m và J là độ dốc thủy lực của dòng chảy.

Thời gian dòng chảy t , d, từ điểm tính toán ban đầu đến khoảng cách x theo dòng chảy trong sông xác định theo biểu thức:

$$t = \frac{x}{86400v} \quad (9)$$

Trường hợp trên sông có nhiều điểm xả nước thải tập trung, trên cơ sở biểu thức (2) có thể xác định được nồng độ BOD lớn nhất tại một điểm bất kỳ nào đó sau cống xả nước thải thứ i như sau:

$$L_{t,i} = L_{s,i} \cdot 10^{-K_1 \cdot t_{s,i}} + \frac{1}{n_i} (L_{nt,i} - L_{s,i}) \cdot 10^{-K_1 \cdot t_{nt,i}} + L_{b,i} \quad (10)$$

trong đó: $L_{s,i}$ là hàm lượng BOD trong nước sông trước điểm xả nước thải thứ i được lấy bằng hàm lượng BOD trong dòng hỗn hợp nước sông và nước thải $L_{nt,i-1}$, ngay trước điểm xả đó.

Để xác định được số lần pha loãng nước nguồn với nước thải n_i , lưu lượng nước nguồn tại điểm xả này là:

$$Q_i = Q + \sum_{j=1}^{i-1} q_{j-1} \quad (11)$$

Đại lượng L_b là lượng chất hữu cơ tính theo nồng độ BOD bổ sung vào dòng chảy sông trong đoạn từ 0 đến x do nước thải không thu gom được và xả phân tán theo chiều dài sông, do các quá trình sinh hóa diễn ra trong đoạn sông gây tái nhiễm bản hữu cơ, ... Đại lượng này phụ thuộc vào đặc điểm dòng chảy, điều kiện vệ sinh và thu gom nước thải ven bờ sông cũng như điều kiện khí hậu khu vực.



3. Thực hiện tính toán theo mô hình

Các bước thực hiện mô hình toán được trình bày trên Hình 2.

a. Nhập các số liệu:

Các số liệu nhập vào mô hình bao gồm 3 nhóm:

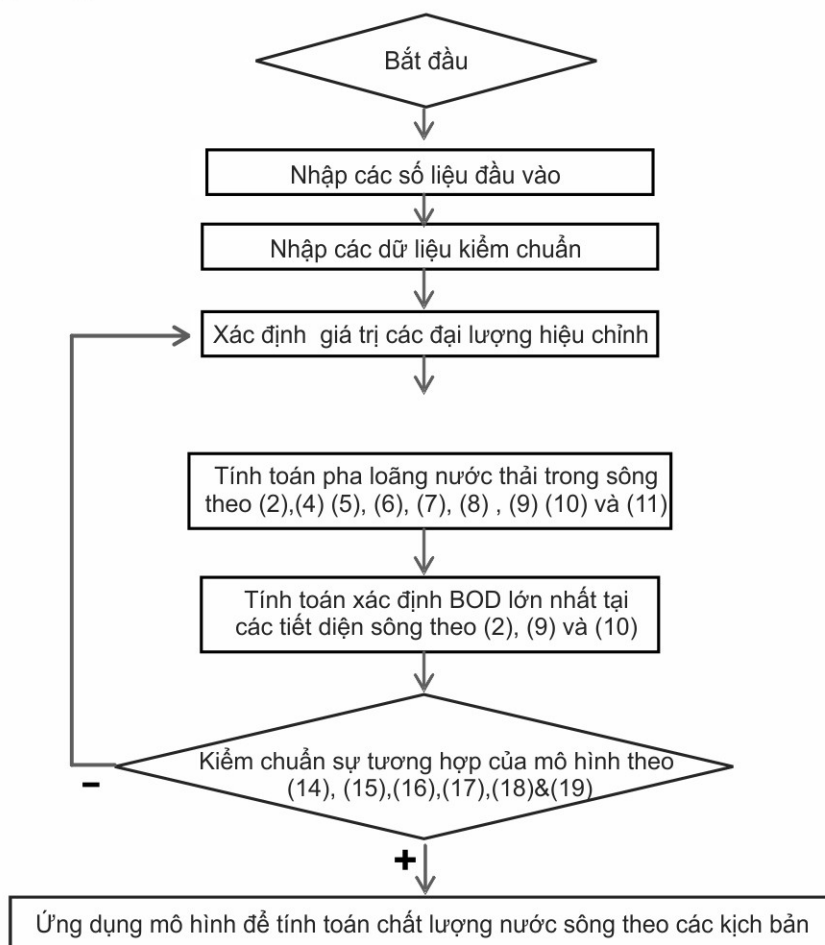
- Nhóm số liệu cố định mô tả trạng thái vật lý của nguồn tiếp nhận (sông thoát nước) như chiều rộng trung bình B (m), chiều sâu trung bình H (m) và độ dốc thủy lực của dòng chảy J của dòng chảy, lưu lượng Q_1 và BOD $L_{s,1}$ của sông trước khi xả nước thải vào. Trong vùng dòng chảy ổn định với H không thay đổi thì J có thể lấy bằng độ dốc đáy sông.

- Nhóm số liệu động là các số liệu được nhập vào theo các kịch bản tính toán, bao gồm số lượng các điểm xả nước thải tập trung vào sông N và vị trí, khoảng cách của chúng; lưu lượng $q_{nt,i}$ và nồng độ ô nhiễm (BOD) $L_{nt,i}$ của nước thải xả vào sông; hệ số đặc trưng cho cống xả nước thải vào dòng chảy sông ξ_i . Khi xả nước thải ven bờ thì ξ lấy bằng 1 (các kịch bản dự báo ô nhiễm nước), xa bờ thì ξ lấy bằng 1,5 (các kịch bản tăng cường quá trình tự làm sạch để cải thiện chất lượng môi trường nước sông [3]).

- Nhóm các số liệu để kiểm chuẩn bao gồm lưu lượng và nồng độ BOD của nước thải xả vào sông tại điểm tính toán i , nồng độ BOD lớn nhất tại các mặt cắt x_i và số lượng mẫu phân tích BOD của nước sông m tại các điểm thứ i cùng 1 thời điểm cho toàn bộ N mặt cắt tính toán.

b. Các thông số hiệu chỉnh:

Các đại lượng hiệu chỉnh bao gồm: $K_{1,s}$ - hệ số chuyển hóa chất ô nhiễm hữu cơ theo BOD (hằng số tốc độ oxy hóa sinh hóa chất hữu cơ) trong nước sông thoát nước, d^{-1} và nồng độ chất bẩn bổ sung trong đoạn sông từ vị trí $i-1$ đến i .



Hình 2. Sơ đồ khối các bước tính toán theo mô hình

Đối với sông thoát nước đô thị bị ô nhiễm hữu cơ nặng, ở điều kiện 20°C , $K_{1,s}$ bằng $0,1d^{-1}$ và khi nhiệt độ nước sông bằng nhiệt độ T thì xác định theo biểu thức:

$$K_{1,s} = K_{20,s} (1,047)^{T-20} \quad (12)$$

Tuy nhiên, đối với từng sông khác nhau, hệ số $K_{1,s}$ sẽ khác nhau phụ thuộc vào các yếu tố liên quan đến khả năng tự làm sạch của sông: vận tốc dòng chảy, lượng oxy bổ cập, hệ vi sinh vật và thực vật thủy sinh trong sông, ... Theo Vũ Quyết Thắng, 1984, nước sông ở Chao Phaya có K_1 khoảng $0,06d^{-1}$ - $0,1d^{-1}$, nước kênh ở Băng Cốc (Thái Lan) $0,07$ - $0,19d^{-1}$ (30°C) [7]. Khi sử dụng mô hình Phelps-Streeter để tính toán khả

năng tự làm sạch sông Cầu đoạn chảy qua thành phố Thái Nguyên, Cái Anh Tú (2014) đã chọn hệ số K_1 là $0,1304 \text{ d}^{-1}$ [5]. Phùng Chí Sĩ, Đinh Xuân Thắng và những người khác, 2012, đã xác định hằng số tốc độ phân hủy sinh hóa chất hữu cơ trong sông Cu Đê (Đà Nẵng) K_1 từ 0,101 đến 0,122 d^{-1} [4]. Các kết quả nghiên cứu đối với sông thoát nước Hà Nội giai đoạn 1985-1988 cho thấy: khi vận tốc dòng chảy trong sông là $v \leq 0,2 \text{ m/s}$ và nhiệt độ nước sông trung bình là 25°C (ứng với mùa khô) K_1 có thể xác định theo biểu thức sau đây [1]:

$$K_1 = 0,0142 + 0,14 \lg L_0, \text{ d}^{-1} \quad (13)$$

trong đó: L_0 là giá trị BOD ban đầu của hỗn hợp nước sông và nước thải, tính theo mg/L .

Đối với sông thoát nước, các kinh nghiệm cho thấy có thể lựa chọn giá trị $K_{1,s}$ và $K_{1,h}$ - các hệ số chuyển hóa chất ô nhiễm hữu cơ theo BOD (hằng số tốc độ oxy hóa sinh hóa chất hữu cơ) trong nước sông thoát nước và trong dòng hỗn hợp nước sông và nước thải như nhau [1, 3].

Đại lượng L_b phụ thuộc vào đặc điểm dòng chảy, điều kiện vệ sinh và thu gom nước thải ven bờ sông cũng như điều kiện khí hậu khu vực, có thể chọn bằng 1,0 đến 1,25 mg/L [3]. Theo nghiên cứu của tác giả trong giai đoạn 1985-1988, đối với sông mương thoát nước Hà Nội khi vận tốc dòng chảy từ 0,01 đến 0,02 m/s (về mùa khô) thì L_b từ 1,4 đến 2,0 mg/L [1].

Như vậy, các đại lượng K_1 và L_b có thể thay đổi khi có các biện pháp tăng cường quá trình tự làm sạch trong sông (làm giàu oxy, thả thả thực vật thủy sinh, kè đá sinh thái, ...) [2] cũng như thu gom và xử lý tại chỗ hiệu quả các nguồn nước thải phân tán, khó kiểm soát dọc sông.

c. Phương pháp kiểm chuẩn mô hình

Trong thống kê toán, tính tương hợp của mô hình tính toán được đánh giá theo chuẩn số Fisher, được biểu diễn theo công thức sau đây:

$$F = \frac{S_d^2}{S_l^2} \quad (14)$$

trong đó: S_l^2 là phương sai lặp, xác định theo biểu thức:

$$S_l^2 = \frac{\sum_{i=1}^N S_i^2}{N} \quad (15)$$

S_d^2 là phương sai dư xác định theo biểu thức:

$$S_d^2 = \frac{m \sum_{i=1}^N [(\hat{y}_i - \bar{y}_i)^2]}{N - 1} \quad (16)$$

Trong hai biểu thức (15) và (16), N là số lượng các điểm quan trắc để lấy số liệu và m là số lượng mẫu lặp tại điểm quan trắc được lấy để phân tích BOD; $\hat{y}_i$ là giá trị tính toán được theo mô hình biểu thức (10) tại điểm i và $\bar{y}_i$ là đại lượng trung bình từ các kết quả BOD đo đạc được từ các mẫu lặp, xác định theo biểu thức:

$$\bar{y}_i = \frac{\sum_{a=1}^m y_{i,a}}{m}; \forall i = 1, 2, \dots, N \quad (17)$$

Nếu chuẩn số Fisher F tính theo (14) nhỏ hơn giá trị bảng chuẩn số Fisher F_{p, f_1, f_2} với mức có nghĩa p (thường là $p=0,05$, $p=0,1$ hoặc $p=0,2$), bậc tự do của phương sai dư $f_1 (f_1=N-1)$ và phương sai lặp ($f_2=N(m-1)$), thì phương trình tương hợp.

Khi không có các thí nghiệm song song thì có thể đánh giá sự tương hợp của mô hình bằng cách so sánh S_d^2 và phương sai trung bình S_y^2 theo biểu thức:

$$S_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^N [(y_i - \bar{y})^2]}{N - 1} \quad (18)$$

Như vậy, chuẩn số Fisher tính theo công thức:

$$F = \frac{S_y^2}{S_d^2} \quad (19)$$

Trong trường hợp này chuẩn số Fisher chỉ ra rằng sự phân tán của mô hình được giảm bao nhiêu lần so với sự phân tán của giá trị trung bình. Chuẩn số Fisher tra bảng ở mức có nghĩa p với bậc tự do $f_2=N-1$ và $f_1=N-1$.



4. Kết luận

Nước thải đô thị chủ yếu chứa các chất hữu cơ dễ oxy sinh hóa (BOD), các chất rắn lơ lửng và các chất dinh dưỡng N, P,... Khi xả vào dòng chảy sông các chất ô nhiễm này sẽ được phát tán và chuyển hóa. Đối với sông mương thoát nước đô thị khi dòng chảy ổn định, các phương trình (1) đến (10) là mô hình toán, triển khai theo sơ đồ thuật toán Hình 2, có thể mô tả được chất lượng nước theo chỉ tiêu BOD tại mọi tiết diện trên đoạn sông nghiên cứu.

Sau khi hiệu chỉnh và kiểm chuẩn, mô hình có thể ứng dụng để đánh giá và dự báo chất lượng nước sông khi tiếp nhận nước thải tập trung của đô thị cũng như làm cơ sở đề xuất các giải pháp cải thiện môi trường nước sông.

Tài liệu tham khảo

1. Trần Đức Hạ (1991), *Mô hình hóa quá trình tự làm sạch chuỗi hồ trong điều kiện Việt Nam*, Luận án tiến sĩ, Trường Đại học Xây dựng Leningrad.
2. Trần Đức Hạ, Phạm Tuấn Hùng, Nguyễn Hữu Hòa, Nguyễn Đức Toàn (2009), *Bảo vệ và quản lý tài nguyên nước*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
3. Rodzinler I.D (1985), *Dự báo chất lượng nguồn nước sau khi tiếp nhận nước thải*, NXB Xây dựng Leningrad (bản tiếng Nga).
4. Phùng Chí Sĩ, Đinh Xuân Thắng, Nguyễn Thị Thanh Tú (2012), "Nghiên cứu khả năng tự làm sạch trong môi trường nước sông Cu Đê", *Tạp chí Khí tượng và Thủy văn*.
5. Cái Anh Tú (2014), "Áp dụng hệ số ô nhiễm BOD, COD, SS và mô hình Streeter-Phelps để tính toán tải lượng ô nhiễm một số nguồn thải", *Tạp chí Môi trường*, số 11/2014.
6. UBND thành phố Hà Nội (2013), *Quy hoạch thoát nước Thủ đô Hà Nội đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050*, Hà Nội.
7. Vu Quyet Thang (1984), *Evaluation of k_1 for BOD in tropical rivers*, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
8. World Bank (2013), *Vietnam Urban Wastewater Review, Main report*.