

Mô phỏng trạm xử lý nước thải bằng gPROMS

Simulation of wastewater treatment plant by gPROMS

> TS NGUYỄN ĐÌNH HUẤN

Khoa Môi trường, Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng

Email: huanbachkhoa@gmail.com

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả của việc sử dụng máy tính để mô phỏng trạm xử lý nước thải (XLNT) bằng ngôn ngữ gPROMS, một ngôn ngữ rất mạnh đang áp dụng khá phổ biến trên thế giới về lĩnh vực đào tạo và quản lý quy trình sản xuất công nghiệp. Cơ sở dữ liệu để mô phỏng dựa trên số liệu đo đạc của trạm XLNT Benchmark, được trình bày trên website (www.benchmarkWWTP.org). Kết quả mô phỏng đã cho kết quả khá chính xác, đồng thời các tham số mô hình thu được gần sát với bộ thông số lý thuyết mặc định đề xuất áp dụng. Việc mô phỏng ở đây dựa trên mô hình ASM1 (Activated Sludge Model n^o1), điều này cho thấy mô hình mô phỏng là đáng tin cậy để thay thế cho việc đo đạc gây nhiều tốn kém nhằm kiểm soát tốt quá trình vận hành trạm XLNT.

Từ khóa: Mô phỏng; tối ưu; nhận diện; trạm xử lý nước thải; gPROMS.

ABSTRACT

The article presents the results of using computers to simulate wastewater treatment plants using gPROMS language, a very powerful language that is widely applied in the world in the field of training and industrial production process management. The database for simulation is based on measurement data of the Benchmark wastewater treatment plant, presented on the website (www.benchmark). The simulation results have shown quite accurate results, and the model parameters obtained are close to the default set of theoretical parameters proposed to be applied. The simulation here is based on the ASM1 model (Activated Sludge Model n^o1), which shows that the simulation model is reliable to replace costly measurements to well control the operation of the wastewater treatment plant.

Keywords: Simulation; optimisation; identification; wastewater treatment plant; gProm.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

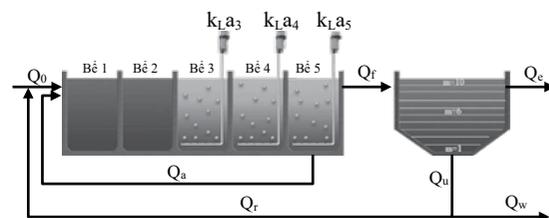
Mô hình mô phỏng quá trình sinh học bởi bùn hoạt tính của một trạm XLNT bằng phương pháp sinh học đã được phát triển và

giới thiệu bởi IAWQ: ASM1 (Henze et al., 1987), ASM2 (Henze et al., 1995), ASM2D (Henze et al., 1999) et ASM3 (Gujer et al., 1999). Mỗi mô hình có những mục đích khác nhau để mô phỏng chính xác 1 thành phần nào đó trong nước thải tùy thuộc vào tính chất nước thải đầu vào, tuy nhiên các quá trình xảy ra khác nhau không nhiều. Điều quan trọng là xác định các tham số liên quan cho phù hợp với đối tượng đang nghiên cứu. Có một số mô phỏng đã được tiến hành trên thế giới cho kết quả khả quan, tuy nhiên vẫn còn một vài bất cập là việc duy trì trạm XLNT cho ổn định như trong phòng thí nghiệm để xác định các thông số liên quan, bên cạnh đó việc đo đạc chính xác các thông số này là một điều khó khăn khi sự biến đổi dòng vào của trạm XLNT diễn ra một cách liên tục.

Trong phạm vi nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng ngôn ngữ mô phỏng khá mạnh (gPROMS) cũng như trạm XLNT được duy trì chế độ làm việc khá lý tưởng (trạm Benchmark) để mô phỏng dựa trên mô hình ASM1. Mục đích nhằm tìm ra các tham số phù hợp của mô hình cũng như kiểm chứng độ sai số giữa lý thuyết và thực tiễn.

2. ĐỐI TƯỢNG NGHIÊN CỨU

Trạm XLNT Benchmark nghiên cứu ở đây gồm 5 bể phản ứng sinh học và 1 bể lắng 2 (hình 1). Hai bể kỵ khí đặt trước 3 bể hiếu khí. Có 2 dòng tuần hoàn diễn ra ở đây: (1) dòng tuần hoàn bên trong, từ bể hiếu khí cuối cùng về bể thiếu khí đầu tiên để khử nitrat; (2) dòng tuần hoàn từ bể lắng 2 về bể thiếu khí đầu tiên để cung cấp bùn hoạt tính cho các bể sinh học.



Hình 1. Trạm XLNT Benchmark

Các thông số của trạm XLNT được trình bày trong bảng 1, còn lưu lượng các thành phần được mô tả trong bảng 2.

Bảng 1: Các thông số của trạm xử lý Benchmark

Bể phản ứng	Thể tích (m ³)	$k_1.a$ (*) (h ⁻¹)	Ghi chú
Bể 1	1 000	0	Thiếu khí
Bể 2	1 000	0	Thiếu khí
Bể 3	1 333	10	Hiếu khí
Bể 4	1 333	10	Hiếu khí
Bể 5	1 333	3.5	Hiếu khí

(*) $k_1.a$: hệ số cấp oxy cho bể sinh học.

Bảng 2: Lưu lượng trạm xử lý Benchmark

Thành phần	Giá trị	Đơn vị
Q ₀	18 446	m ³ /d
Q _r	18 446	m ³ /d
Q _a	55 338	m ³ /d
Q _w	385	m ³ /d

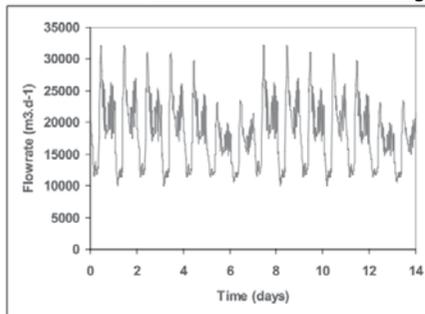
3. LỰA CHỌN MÔ HÌNH

Để mô phỏng quá trình xử lý của trạm XLNT bởi bùn hoạt tính, phần lớn các nghiên cứu thực tế trong khoảng 30 năm gần đây là dựa trên sự thiết lập các mô hình phức hợp. Trong số đó, mô hình ASM1 được áp dụng khá nhiều vì độ chính xác khá cao vì mô hình này có mối liên quan đến lý thuyết và rất chi tiết để mô tả các quá trình khác nhau trong phản ứng sinh học của trạm XLNT.

Trong nghiên cứu này, các dữ liệu đầu vào khá phù hợp với các quá trình ASM1 mô phỏng, nên mô hình ASM1 nó được sử dụng để mô tả diễn biến các chất COD, BOD5, Nitơ và TSS.

4. QUÁ TRÌNH THỰC NGHIỆM

Lưu lượng và nồng độ các chất dòng vào và dòng ra của trạm XLNT Benchmark được đo đạc một cách liên tục (cứ 15 phút một lần lấy mẫu, liên tục trong 2 tuần trong khoảng thời tiết khác nhau: mùa khô, mùa mưa, mùa bão). Các dữ liệu này được công khai trên trang site của Benchmark (www.benchmarkWWTP.org).



Hình 2. Dữ liệu đo đạc đầu vào của trạm XLNT

5. XÁC ĐỊNH CÁC THAM SỐ MÔ HÌNH

Mô hình ASM1 có 20 tham số (bảng 3). Để mô phỏng trạm XLNT là cần xác định các tham số này sao cho độ sai lệch giữa lý thuyết và thực tiễn là nhỏ nhất. Về nguyên tắc, chúng ta không thể xác định toàn bộ cho 20 tham số cùng lúc mà chỉ xác định những tham số có độ nhạy lớn nhất ảnh hưởng nhiều đến mô hình, còn những tham số khác lấy theo giá trị mặc định của lý thuyết đề xuất.

a/ Phương pháp xác định độ nhạy các tham số

Mối quan hệ giữa các dữ liệu đo đạc và lý thuyết của dòng ra của một trạm XLNT được mô tả như sau :

$$y_{ij} = \hat{y}_i(x, p, t_{ij}) + \epsilon_{ij} \tag{1}$$

y_{ij} : giá trị đo đạc thực nghiệm.

\hat{y}_i : giá trị ước lượng bằng mô hình (lý thuyết), là hàm của các biến đầu ra, tham số hiệu chỉnh và thời gian thực nghiệm.

ϵ_{ij} : sai số giữa lý thuyết và thực nghiệm.

Với : $i = 1, 2, \dots, n_s$; $j = 1, 2, \dots, n_m$

n_s : số lượng các biến đầu ra.

n_m : số lượng các biến đo đạc.

Phân tích độ nhạy các biến đầu ra cho phép định lượng tác động của các tham số đến mô hình. Việc này được căn cứ trên độ nhạy của chúng :

$$s_{ij} = \frac{\partial \hat{y}_i}{\partial p_j} \quad , \quad j = 1, 2, \dots, n_p \tag{2}$$

ở đây : n_p : số lượng các tham số.

Xác định theo khoảng thời gian nhất định, hệ số độ nhạy trở thành :

$$s_{ij} \Big|_{t=t_k} = \frac{\bar{p}_j}{\hat{y}_i \Big|_{t=t_k}} \frac{\partial \hat{y}_i}{\partial p_j} \Big|_{t=t_k} \approx \frac{\bar{p}_j}{\hat{y}_i \Big|_{t=t_k}} \frac{\Delta \hat{y}_i}{\Delta p_j} \Big|_{t=t_k} \tag{3}$$

Mỗi một tham số gây ra một sự sai số nhất định đến mô hình khi có sự biến thiên về giá trị. Tuy nhiên cần xác định giá trị sai số bao nhiêu thì được xem là độ nhạy đáng kể để đưa vào xác định, trong trường hợp sai số không nhiều thì có thể bỏ qua không cần xác định mà lấy theo giá trị mặc định. (Li, 2003) đã lập thành ma trận Z để xác định độ nhạy (4).

$$Z = \begin{bmatrix} s_{11} \Big|_{t=t_1} & \dots & s_{1n_p} \Big|_{t=t_1} \\ \vdots & & \vdots \\ s_{n_s 1} \Big|_{t=t_1} & \dots & s_{n_s n_p} \Big|_{t=t_1} \\ \vdots & & \vdots \\ s_{11} \Big|_{t=t_2} & \dots & s_{1n_p} \Big|_{t=t_2} \\ \vdots & & \vdots \\ s_{n_s 1} \Big|_{t=t_{n_m}} & \dots & s_{n_s n_p} \Big|_{t=t_{n_m}} \end{bmatrix} \tag{4}$$

Dùng Matlab để giải ma trận Z sẽ cho chúng ta thứ tự độ nhạy của các tham số được xếp theo thứ tự từ cao đến thấp. Từ giá trị độ nhạy đề xuất của (Li, 2003) ta có thể biết được số lượng tham số cần xác định và chỉ ra những tham số nào để tiến hành thực hiện.

b/ Thực hiện xác định độ nhạy các tham số

Ngôn ngữ gProms được sử dụng trong công việc này để tính toán và ước lượng các tham số của ma trận Z dựa trên các số liệu đo đạc thực tế. Các kết quả thu được được lưu thành các file excel, sau đó được sử dụng để xác định các thông số có độ nhạy của các tham số bằng ngôn ngữ Matlab. Các kết quả phân tích độ nhạy thu được mô tả trong bảng 3, ở đây các tham số được sắp xếp theo thứ tự độ nhạy từ lớn đến nhỏ.

Bảng 3: Sắp xếp các tham số theo độ nhạy giảm dần

Y_H	101.837	K_{NO}	0.1320
i_{XB}	3.2281	K_{NH}	0.0900
f_{ns}	2.8492	μ_H	0.0805
b_H	2.0133	i_{XP}	0.0675
μ_A	0.8816	k_h	0.0562
k_a	0.5265	b_a	0.0466
f_P	0.4198	$K_{O,A}$	0.0381
$K_{O,H}$	0.3778	n_g	0.0177
Y_A	0.2576	K_S	0.0076
n_h	0.2405	K_X	0.0030

Bảng 3 chỉ ra rằng độ nhạy của tham số Y_H là lớn nhất và K_X là nhỏ nhất.

Theo đề xuất của (Li, 2003), dựa trên kết quả bảng 3 đối với trạm XLNT này chỉ cần xác định 4 tham số chính có độ nhạy lớn nhất là Y_H , i_{XB} , b_H và f_{ns} . Còn các tham số khác lấy theo giá trị mặc định của mô hình ASM1.

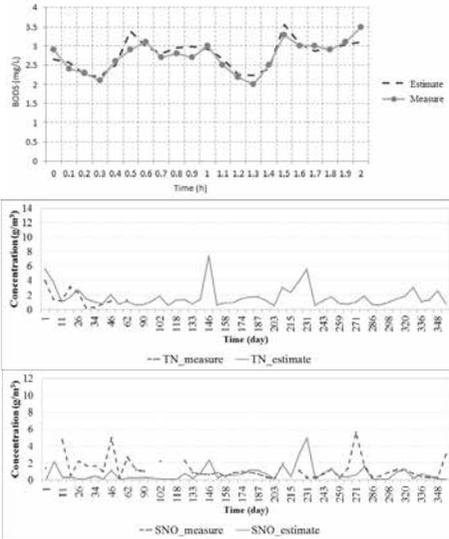
c/ Xác định giá trị của tham số

Mục đích của phần này là xác định giá trị của 4 hệ số có độ nhạy lớn Y_H , i_{XB} , b_H và f_{ns} để sai số giữa lý thuyết và thực tiễn là nhỏ nhất. Sử dụng ngôn ngữ gProms để thực hiện công việc này. Bằng nhiều vòng lặp gProms cho ra được các giá trị tham số cần xác định như bảng 4.

Bảng 4: Kết quả các tham số được xác định

Y_H	0.38	b_H	1.6
i_{XB}	0.0025	f_{ns}	0.02047

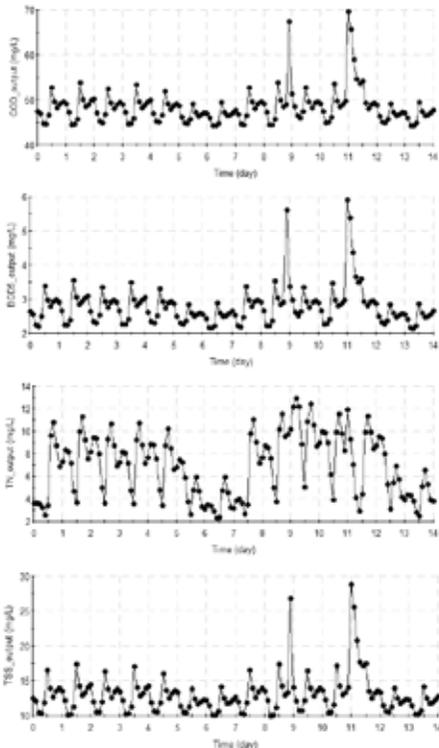
Thay các tham số xác định được vào mô hình, kết hợp với các tham số mặc định có độ nhạy nhỏ. Tiến hành mô phỏng dựa trên số liệu đo đầu vào và so sánh kết quả đầu ra cho thấy độ sai số giữa lý thuyết (mô hình ASM1) với các số đo thực nghiệm (hình 3).



Hình 3. So sánh kết quả đo đạc và giá trị mô phỏng của mô hình với các tham số xác định được

6. MÔ PHỎNG ĐỘNG

Mô phỏng động trạm XLNT là việc sử dụng các số liệu đo đặc các biến đổi theo thời gian các biến đầu vào cũng như các dạng thức cấp khí xác định sau đây dẫn tới kết quả các nồng độ COD, BOD₅, TN, TSS như hình 4.



Hình 4. Kết quả mô phỏng nồng độ đầu ra của trạm XLNT

Hình 4 này chỉ rằng các giới hạn đầu ra là thỏa mãn, chỉ trừ nồng độ COD thỉnh thoảng vượt một vài thời điểm trong ngày. Do vậy việc tối ưu hóa để đảm bảo nồng độ đầu ra cũng như tiết kiệm năng lượng vận hành là cần thiết.

7. KẾT LUẬN

Việc mô phỏng trạm XLNT đã được thực hiện với kết quả rất sát với trạng thái làm việc của trạm XLNT. Việc mô phỏng chỉ ra những tham số có độ nhạy cao ảnh hưởng đến sự biến đổi trạng thái của trạm xử lý nước thải. Với vòng lặp của gProms đã xác định được chính xác các tham số này để hiệu chỉnh mô hình có độ chính xác cao giữa lý thuyết và thực tiễn.

Do trạm XLNT được vận hành khá sát với mô hình thực nghiệm nên các tham số xác định được bởi gProms khá gần đúng với các tham số lý thuyết của mô hình ASM1. Điều này chứng tỏ mô hình ASM1 rất đáng tin cậy để ứng dụng vào để mô phỏng các trạm XLNT.

Việc mô phỏng thực tế một trạm XLNT đã cho phép giảm chi phí rất đáng kể cho quá trình vận hành sau này của trạm. Bởi vì chỉ cần cập nhật trạng thái đầu vào của hệ thống xử lý nước thải là có thể xác định được nồng độ đầu ra mà không cần đo đạc tốn kém. Kết quả mô phỏng cũng cho chúng ta xây dựng được nhiều kịch bản để có những phương án vận hành hợp lý đảm bảo tiết kiệm điện năng cũng như đạt tiêu chuẩn xả thải yêu cầu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Alex, J. et al. Benchmark Simulation Mô hình no. 1 (BSM1). *IWA Taskgroup on Benchmarking of Control Strategies for WWTPs*, 2008.
- [2]. Alex, J. et al. The COST Simulation Benchmark: Description and Simulator Manual. *COST Action 624 and COST Action 682*, 2001.
- [3]. Benyahia, B. Modélisation, expérimentation et optimisation multicritère d'un procédé de copolymérisation en émulsion en présence d'un agent de transfert de chaîne. *Institut National Polytechnique de Lorraine*, 2009.
- [4]. B. Savun-Hekimoglu. On the use of mathematical models for wastewater treatment: a review and analysis of activated sludge models ASM1 and ASM3. *Int. J. Environ. Geoinformatics (IJEGEO)*, 8 (1) , 2021.
- [5]. S. Waqas et al. Recent progress in integrated fixed-film activated sludge process for wastewater treatment: a review. *J. Environ. Manage.*, 268 (2020), Article 1107, 2020.
- [6]. Guisasaola, A. et al. Limitations of ASM1 and ASM3: a comparison based on batch oxygen uptake rate profiles from different full-scale wastewater treatment plants. *Water Science & Technology Vol 52 No 10-11*, 2005.
- [7]. Gujer, W., Henze, M., Mino, T. & van Loosdrecht, M.C.M. Activated Sludge Mô hình No. 3. *Water Sci. Technol.*, 39(1), 183-193, 1999.
- [8]. Henze, M. et al. Activated Sludge Mô hình No. 1. *Technical Report 1, IAWQ, London*, 1987.
- [9]. Henze, M. et al. Activated Sludge Mô hình No.2. *IAWQ Scientific and Technical Report No. 3, London, UK*, 1995.
- [10]. Henze, M. et al. Activated Sludge Mô hình No. 2D, ASM2D. *Water Sci. Technol.*, 39(1), 165-182, 1999.
- [11]. Li, R. Dynamic mô hìnhing and parameter estimation for ethylene-propylene-diene polymerization process. *PhD thesis, Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, USA*, 2003.
- [12]. Nopens, I. et al. *Benchmark Simulation Mô hình No2: finalisation of plant layout and default control strategy*. Water Science & Technology - WST - 62.9, 2010.
- [2]. Yao, K.Z. et al. Mô hìnhing ethylene/butene copolymerization with multisite catalysts: Parameter estimability and experimental design. *Polymer Reaction Engineering*, 11: 563-588, 2003.