



# NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH CÁC THÔNG SỐ ĐẶC TRƯNG CỦA BÙN THẢI TRONG MÔ HÌNH HÓA VÀ THIẾT KẾ BỂ LẮNG: ỨNG DỤNG CHO QUÁ TRÌNH XỬ LÝ NƯỚC THẢI TRONG CÔNG NGHỆ TUYỂN THAN

Lê Hải Kiên, Nguyễn Trung Dũng, Nguyễn Đặng Bình Thành  
Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội

Ngày tòa soạn nhận được bài báo: 19/03/2017

Ngày phân biện đánh giá và sửa chữa: 22/05/2017

Ngày bài báo được duyệt đăng: 25/05/2017

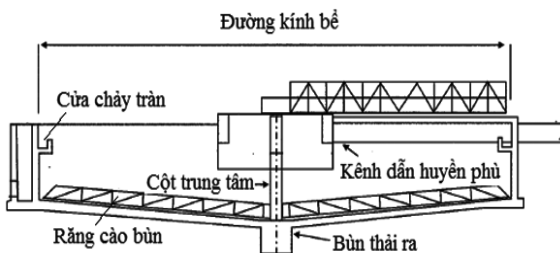
## Tóm tắt:

Bể lắng sơ cấp và thứ cấp là các thiết bị phổ biến và quan trọng trong dây chuyền công nghệ xử lý nước thải của nhiều ngành công nghiệp, đặc biệt là ngành khai thác và chế biến khoáng sản. Hiện nay, các tiêu chuẩn về xử lý nước thải ngày càng nghiêm ngặt thì việc tính toán thiết kế, vận hành, và điều khiển bể lắng sơ cấp ngày càng được quan tâm vì nó ảnh hưởng lớn tới các quá trình công nghệ tiếp theo. Trên cơ sở thực nghiệm và phân tích đường cong lắng gián đoạn, bài báo đưa ra phương pháp xác định các thông số đặc trưng của bùn thải. Các phương trình cơ bản của quá trình lắng như vận tốc lắng vùng nén ép Vesilind, hàm thông lượng pha rắn  $f_{bk}$ , và hàm ứng suất nén ép pha rắn  $\sigma$  được xác định tường minh.

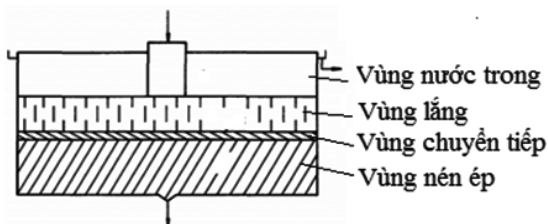
**Từ khóa:** Bể lắng, phương pháp thiết kế, mô hình hóa, xử lý nước thải, tuyển than.

## 1. Đặt vấn đề

Sự phát triển công nghiệp nhanh chóng mang lại nhiều lợi ích về kinh tế và xã hội tuy vậy nó cũng gây ra ô nhiễm môi trường và đe dọa đến sức khỏe con người. Hiện nay các tiêu chuẩn về khí thải, nước thải ngày càng cao và nghiêm ngặt do đó, vấn đề xử lý nguồn ô nhiễm trong các ngành công nghiệp trước khi thải ra môi trường đã và đang là một vấn đề cần phải quan tâm. Trong dây chuyền xử lý nước thải, thiết bị lắng là thiết bị rất quan trọng, có tác dụng lắng sơ bộ pha rắn trước khi vào các công đoạn xử lý tiếp theo. Hình 1 mô tả một thiết bị lắng răng cào điển hình trong công nghiệp.

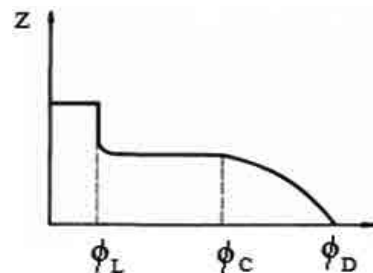


Hình 1. Thiết bị lắng răng cào trong công nghiệp



Hình 2. Sơ đồ 4 vùng làm việc trong thiết bị lắng

Coe và Clevenger chia bể lắng răng cào, làm việc liên tục và ổn định thành 4 vùng cơ bản bao gồm vùng nước trong, vùng lắng, vùng chuyển tiếp và vùng lắng nén ép. Các vùng và hàm lượng pha rắn tương ứng được mô tả trong Hình 2 và 3 [1,2].



Hình 3. Hàm lượng pha rắn theo 4 vùng làm việc của thiết bị lắng

Đã có nhiều phương pháp khác nhau từ đơn giản tới phức tạp nhằm tính toán thiết kế bể lắng răng cào như phương pháp Mishler (1912), Coe và Clevenger (1916), Kynch (1952), Talmage và Fitch (1955), Oltmann (1976) [1,2,3]. Tuy vậy do các thông số như nhiệt độ, lưu lượng, hàm lượng pha rắn luôn thay đổi trong quá trình làm việc nên các phương pháp này đều phải sử dụng các thông số trung bình và đưa thêm vào hệ số thiết kế an toàn. Vì thế hiệu quả hoạt động của thiết bị lắng thường không ổn định, không kiểm soát được quá trình và làm giảm khả năng làm việc của thiết bị.

Việc xác định tường minh các thông số đặc trưng của quá trình lắng dựa trên thực nghiệm lắng gián đoạn là cơ sở để đưa ra một quy trình thiết kế bể lắng và mô hình hóa quá trình công nghệ nhằm

dự đoán một cách chính xác hiệu quả hoạt động của thiết bị lắng.

**2. Phương pháp nghiên cứu**

Quá trình lắng dưới tác dụng của trọng lực trong các thiết bị lắng diễn ra ở các chế độ lắng khác nhau. Ở giai đoạn đầu, khi hàm lượng pha rắn trong huyền phù nhỏ, các hạt rắn lắng xuống ở chế độ lắng tự do. Sau đó, khi hàm lượng pha rắn tăng dần lên, các hạt rắn rơi tự do sẽ tương tác với nhau nhiều hơn. Sự tương tác này làm cản trở quá trình lắng nghĩa là làm cho tốc độ lắng giảm xuống. Ngoài ra, khi hàm lượng pha rắn đủ lớn, các phần tử này có xu hướng xếp chặt lại với nhau tạo ra sự nén ép giữa các khối hạt. Quá trình này cũng ảnh hưởng không nhỏ đến vận tốc lắng của các khối hạt. Do diễn biến của quá trình lắng khá phức tạp và ranh giới giữa các chế độ lắng chưa thực sự rõ ràng nên mô tả toán học đầy đủ và chi tiết cho quá trình lắng vẫn đang được phát triển. Tuy nhiên, việc xây dựng mô hình toán học cho quá trình lắng dưới tác dụng trường trọng lực thường được xây dựng với giả thiết cơ bản sau: (1) Các hạt của các phần tử trong pha rắn có khối lượng riêng như nhau và rất nhỏ so với thiết bị lắng, nghĩa là bỏ qua hiệu ứng dòng chảy tại vùng không gian gần thành thiết bị lắng, (2) các phần tử pha rắn và pha lỏng không bị nén ép, (3) quá trình chuyển khối giữa pha rắn và pha lỏng không xảy ra, (4) các phần tử pha rắn kết khối trước khi quá trình lắng diễn ra, (5) các khối hạt lắng với tốc độ

như nhau.

Từ các giả thiết nêu trên, quá trình lắng dưới tác dụng của trọng lực được đặc trưng bởi các phương trình cơ bản sau:

Hàm mật độ thông lượng pha rắn [2,5]:

$$f_{bk}(\vartheta) = u_{\infty} \vartheta \left(1 - \frac{\vartheta}{\vartheta_{max}}\right)^c \tag{1}$$

Trong đó:

$f_{bk}(\vartheta)$  là hàm mật độ thông lượng pha rắn  
 $\vartheta$  là hàm lượng pha rắn trong huyền phù  
 $\vartheta_{max}$  là hàm lượng pha rắn tại thời điểm kết thúc quá trình lắng gián đoạn  
 $u_{\infty}$  và  $c$  là hai thông số đặc trưng cho hàm mật độ thông lượng pha rắn

Hàm vận tốc lắng vùng nén ép Vesilind [3,5]:

$$v_s = k \exp(-n\vartheta) \tag{2}$$

Trong đó:

$v_s$  – Vận tốc lắng tại vùng nén ép  
 $k$  và  $n$  là hai thông số đặc trưng cho hàm vận tốc lắng vùng nén ép

Hàm ứng suất nén ép hiệu dụng [5,6]:

$$\sigma_e(\vartheta) = 0 \text{ khi } \vartheta \leq \vartheta_c \tag{3a}$$

$$\sigma_e(\vartheta) = \alpha \exp(\beta\vartheta) \text{ khi } \vartheta_c \leq \vartheta \leq \vartheta_D \tag{3b}$$

Để tính thiết kế và mô hình hóa bể lắng, cần phải xác định tường minh các phương trình cơ bản của quá trình lắng trên cơ sở thực nghiệm lắng gián đoạn. Trong bài báo này, mẫu bùn thải trong công nghệ tuyển than I của Công ty tuyển than Cửa Ông được xem xét.

**3. Kết quả và thảo luận**

Bảng 1. Các thông số thiết kế bể lắng tuyển than I – Công ty tuyển than Cửa Ông

Đường kính bể (m)	Chiều cao bể (m)	Chiều cao cửa chảy tràn (m)	Năng suất xử lý (m <sup>3</sup> /h)	Hàm lượng pha rắn vào (g/l)	Hàm lượng pha rắn ra (g/l)
10,69	4,7	4,47	150	90 – 125	250 – 350

Bảng 2. Hiệu suất thu hồi theo cấp hạt rắn trong tuyển I

Sản phẩm	Tỷ lệ thu hồi các cấp hạt (%)				
	- 0,074 mm	0,074 - 0,1 mm	0,1 - 0,5 mm	0,5 - 1 mm	+ 1 mm
Vào bể	70,65	9,80	16,4	1,73	1,42
Chảy tràn	100	0	0	0	0
Bùn cặn	63,24	6,41	24,46	3,17	2,72

Mẫu bùn thải được lấy tại cửa vào của bể lắng và cửa ra dưới đáy bể. Các thông số thiết kế thực tế của bể cho trong Bảng 1 và các thông số về hiệu suất thu hồi tập hợp hạt rắn cho trong Bảng 2.

Thực nghiệm lắng gián đoạn được tiến hành trong bình lường đựng mẫu bùn thải có đường kính bằng 5,1 (cm), chiều cao bình lường 22 (cm). Bùn thải được khuấy trộn đều trước khi đổ vào bình lường nhằm đảm bảo hàm lượng pha rắn là như

nhau trong bình. Khi quá trình lắng ổn định, bắt đầu tính thời gian. Trong quá trình lắng do trọng lực, các hạt rắn sẽ lắng xuống đáy bình lường nên hình thành lớp nước trong ở phía trên. Khi đó bề mặt phân chia sẽ được hình thành giữa phần nước trong và lớp huyền phù lắng. Tiến hành đo chiều cao bề mặt phân chia pha theo thời gian. Các số liệu đo được ở vùng lắng nén ép sau 4 lần thực nghiệm được trình bày trong Bảng 3.

Bảng 3. Độ cao bề mặt phân chia pha theo thời gian của thực nghiệm lắng gián đoạn

Thí nghiệm	1	2	3	4	Trung bình
Chiều cao lắng H (cm)	Thời gian t (phút)				
10,28	48,25	48,71	44,52	48,33	47,45
9,79	52,00	51,67	47,33	51,32	50,58
9,30	57,83	56,18	51,87	56,17	55,51
8,81	67,75	63,17	59,55	65,15	63,90
8,32	82,50	76,78	71,95	78,67	77,48
7,83	102,42	95,83	88,87	97,00	96,03
7,34	127,58	120,00	112,00	120,33	119,97
6,85	162,18	152,17	144,33	153,20	152,97
6,36	210,00	197,71	185,25	198,00	197,74
3,92	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00

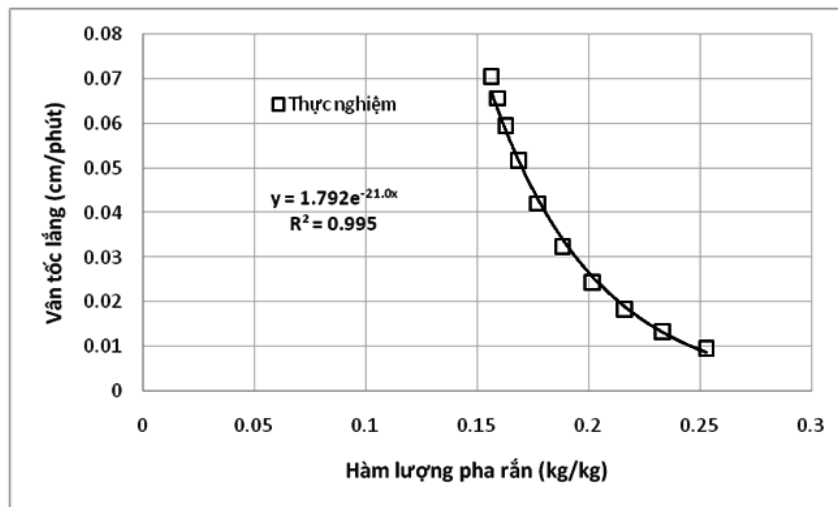
### 3.1. Xác định các thông số đặc trưng của hàm vận tốc lắng vùng nén ép Vesilind

Tiến hành phân tích đường cong lắng gián đoạn, lấy một điểm bất kỳ trên đường cong lắng tại vùng lắng nén ép, kẻ tiếp tuyến cắt trục tung tại chiều cao Z và trục hoành tại thời gian T. Khi đó, vận

tốc vùng lắng nén ép được xác định bằng công thức:

$$v_s(\theta) = -\frac{Z}{T} \quad (4)$$

Hình 4 biểu diễn mối quan hệ giữa vận tốc lắng vùng nén ép  $v_s(\theta)$  với hàm lượng pha rắn  $\theta$ . Từ đó biểu diễn mối quan hệ đó bằng phương trình hồi quy.



Hình 4. Xác định hai thông số đặc trưng k, n của hàm vận tốc lắng vùng nén ép

Cần chú ý rằng, trong đồ thị lắng gián đoạn, chỉ quan tâm tới quá trình lắng vùng nén ép. Khi đó vận tốc lắng vùng nén ép sẽ phụ thuộc vào hàm lượng pha rắn. Vùng lắng tự do là đường thẳng vì có vận tốc lắng không đổi, không phụ thuộc vào hàm lượng pha rắn. Hình 4 xác định được  $k = 1,792$  và  $n = -21,0$ . Độ tương thích  $R^2 > 0,99$ .

### 3.2. Xác định các thông số đặc trưng của hàm mật độ thông lượng pha rắn $f_{bk}$

Bằng việc phân tích từ đường cong lắng gián đoạn, lấy một điểm bất kỳ trên đường cong

lắng gián đoạn vùng lắng nén ép, kẻ tiếp tuyến với đường cong, cắt trục hoành tại thời điểm T. Khi đó hàm mật độ thông lượng  $f_{bk}$  có thể được xác định theo công thức:

$$f_{bk}(\theta) = -\theta_0 \frac{L}{T} \quad (5)$$

Trong đó:

L là chiều cao ban đầu của quá trình thực nghiệm lắng gián đoạn

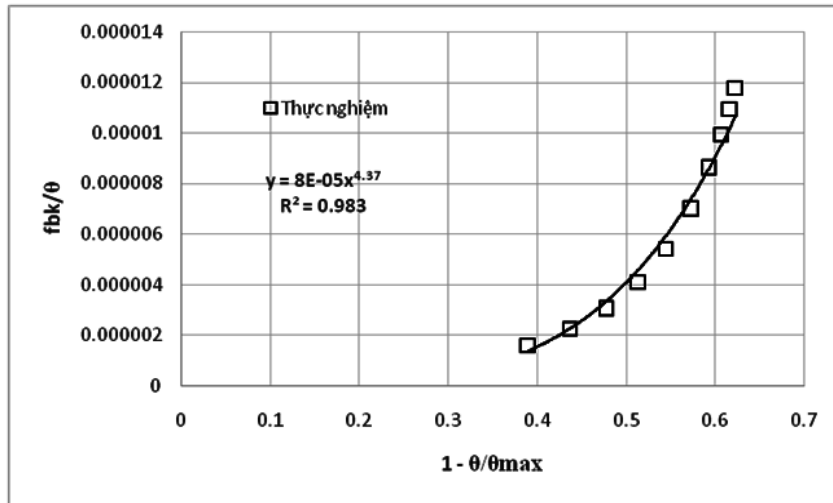
$\theta_0$  là hàm lượng pha rắn ban đầu

Để xác định được các thông số đặc trưng của hàm thông lượng pha rắn, ta biến đổi về dạng:

$$\frac{f_{bk}(\theta)}{\theta} = u_{\infty} \left(1 - \frac{\theta}{\theta_{max}}\right)^c \quad (6)$$

$\frac{f_{bk}(\theta)}{\theta}$  và  $\left(1 - \frac{\theta}{\theta_{max}}\right)$ . Từ đó hồi quy thực nghiệm ta sẽ xác định được hai thông số đặc trưng của hàm số là  $u_{\infty}$  và  $c$ .

Khi đó Hình 5 mô tả mối quan hệ giữa tỷ số



Hình 5. Xác định hai thông số đặc trưng  $u_{\infty}$  và  $c$  của hàm mật độ thông lượng pha rắn  $f_{bk}$

Trên cơ sở Hình 5, hai thông số đặc trưng của hàm mật độ thông lượng pha rắn được xác định với  $u_{\infty} = 8 \times 10^{-5}$  và  $c = 4,37$  với độ tương thích  $R^2 > 0,98$ .

### 3.3. Xác định các thông số đặc trưng của hàm ứng suất nén ép hiệu dụng

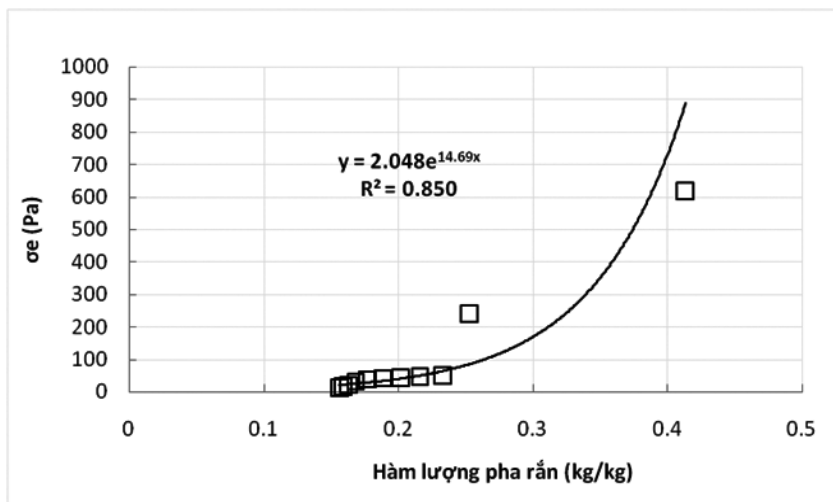
Trong vùng lắng nén ép, các phần tử rắn có vận tốc lắng nhỏ nên có thể bỏ qua. Khi đó ứng suất nén ép pha rắn có thể được xác định đơn giản bằng công thức sau:

$$\frac{d\sigma_e}{dz} = -g\Delta\rho\theta \quad (7)$$

Trong đó:  $g$  là gia tốc trọng trường  
 $\Delta\rho$  là độ chênh khối lượng riêng giữa pha rắn và pha lỏng  
 $\theta$  là hàm lượng pha rắn

Tiến hành tích phân phương trình trên ta sẽ xác định được  $\sigma_e$ , qua đó vẽ được đồ thị miêu tả mối quan hệ giữa ứng suất nén ép hiệu dụng và hàm lượng pha rắn  $\theta$  của mẫu bùn thải nhà máy tuyển than I như biểu diễn trên Hình 6.

Dựa vào phương trình hồi quy xác định được hai thông số đặc trưng của hàm ứng suất nén ép hiệu dụng với  $\alpha = 2,048$  và  $\beta = 14,69$  có độ tương thích  $R^2 = 0,85$ .



Hình 6. Xác định hai thông số đặc trưng  $\alpha$  và  $\beta$  của hàm ứng suất nén ép hiệu dụng

#### 4. Kết luận

Trên cơ sở tiến hành thực nghiệm đường cong lắng gián đoạn, đã xác định được các thông số đặc trưng của các phương trình cơ bản trong quá trình lắng bùn than của thiết bị lắng trong công nghiệp tuyển than I tại Công ty tuyển than Cửa Ông. Các kết quả được mô tả bằng các phương trình cơ bản là hàm vận tốc vùng lắng nén ép Vesilind  $v_s = 1,792 \exp(-21,0\theta)$ , hàm mật độ thông

lượng pha rắn  $f_{bk}(\theta) = 8 \times 10^{-5} \theta \left(1 - \frac{\theta}{0,35}\right)^{4,37}$  và hàm ứng suất nén ép hiệu dụng pha rắn  $\sigma_e(\theta) = 2,048 \exp(14,69\theta)$ . Bằng việc tương minh các phương trình cơ bản này sẽ giúp việc tính toán thiết kế bể lắng chính xác và mô hình hóa quá trình làm việc của bể lắng với những điều kiện làm việc ổn định khác nhau.

#### Tài liệu tham khảo

- [1]. Mishler, R.T., *Settling Slimes at the Tigre Mill*, Eng. Mining. J, p. 643 – 646, 94(14), 1912.
- [2]. Coe, H.S and Clevenger, G.H., *Methods for Determining the Capacity of Settling Tanks*, Trans AIME, p. 356 – 385, 55, 1916.
- [3]. Kynch, G.J., *Theory of Sedimentation*, Trans. Faraday Soc, p. 166-175, 48, 1952.
- [4]. Talmage, W.P and Fitch, E.B, 1955, *Determining Thickener Unit Areas*, Ind. Eng. Chem, p. 38-41, 47, 1955.
- [5]. P. Garrido, R. Burgos, F. Concha, and R. Burger, 2003, *Software for the Design and Simulation of Gravity Thickener*, Minerals Engineering, p. 85-92, 16, 2003.
- [6]. Marcos von sperling and Carla Maria Vasconcellos Froes, *Determination of the Required Surface Area for Activated Sludge Final Clarifiers based on A Unified Database*, Wat. Res, p. 1884-1894, 33, 1999.

### DETERMINATION OF SETTLING PARAMETERS OF WASTE SLURRIES FOR MODELING AND DESIGN OF CONTINUOUS THICKENERS: APPLICATION TO WASTE WATER TREATMENT IN COAL REFINERY PROCESS

#### Abstract:

*Primary and secondary thickening are popular and important in many waste-water treatment processes especially in mining and metallurgical engineering. Due to the environmental concern and requirements of high purity separation, accuracy in calculations and designs of thickeners are highly paid attention. In this paper, determinations of parameters characterized by the gravitational sedimentation of solid-liquid slurries such as solid flux density function, Vesilind hindered settling velocity and solid effective stress are studied and presented on the basis of batch sedimentation experiments. These parameters make it possible for accurate modeling and calculation of sedimentation process.*

**Keywords:** *Thickener, design method, modeling, waste-water treatment, coal refinery.*