

NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG ĐỘNG LỰC HỌC TRONG LÒ LỚP SÔI KHI NHIỆT PHÂN NHANH BIOMASS

RESEARCH ON SIMULATING FLUIDIZED BED DYNAMICS DURING FAST PYROLYSIS OF BIOMASS

Phạm Duy Vũ¹, Hoàng Dương Hùng², Trần Văn Vang¹

¹Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng; phamduyvubk@gmail.com

²Trường Đại học Quảng Bình; hahung@gmail.com

Tóm tắt - Nghiên cứu động lực dòng nhiều pha trong lò nhiệt phân là cơ sở cho việc tính toán thiết kế các thiết bị trong hệ thống nhiệt phân biomass sản xuất nhiên liệu sinh học bằng công nghệ lớp sôi. Kết hợp các phương trình của dòng chuyển động nhiều pha với phần mềm mô phỏng, tác giả đã mô phỏng được các thông số động học trong lớp sôi. Phương pháp Eulerian được sử dụng trong quá trình mô phỏng. Kết quả mô phỏng là xác định được trở lực lớp sôi, tốc độ dòng khí trong lò, mật độ thể tích của các pha trong lò nhiệt phân trên mô hình với công suất lò 800 g/h. Các số liệu này được sử dụng làm cơ sở khi tính toán, thiết kế lò nhiệt phân theo công nghệ lớp sôi, tạo tiền đề cho việc nghiên cứu ứng dụng nguồn năng lượng từ biomass để sản xuất nhiên liệu sinh học.

Từ khóa - biomass; nhiệt phân; động lực học; lò lớp sôi; nhiên liệu sinh học.

1. Đặt vấn đề

Một trong các hướng nghiên cứu tận dụng nguồn năng lượng từ biomass là thực hiện quá trình nhiệt phân để tạo nhiên liệu sinh học [1].

Nhiệt phân là quá trình phân hủy dưới tác động nhiệt trong môi trường không có oxy. Sản phẩm của quá trình nhiệt phân biomass là khí, rắn, lỏng. Chất khí bao gồm các khí như H₂, CO, CO₂, CH₄, H₂, C₂H₄, C₂H₂, các khí này được sử dụng cung cấp nhiệt để sấy biomass. Chất rắn là than được sử dụng làm than hoạt tính phục vụ trong công nghiệp, đời sống hoặc cung cấp nhiệt cho quá trình nhiệt phân. Chất lỏng là dầu sinh học rất thuận tiện cho vấn đề bảo quản và vận chuyển, nó được sử dụng nhiều trong ngành giao thông vận tải, cung cấp nhiệt, sản xuất điện... Tuy nhiên, quá trình nhiệt phân biomass là quá trình phức tạp, tỷ lệ và chất lượng các loại sản phẩm phụ thuộc vào: tốc độ gia nhiệt, nhiệt độ lò phản ứng, thời gian nhiệt phân, chế độ động lực học trong lớp sôi. Các thông số này thường được xác định bởi chế độ nhiệt phân chậm, nhiệt phân trung bình và nhiệt phân nhanh. Khi thực hiện nhiệt phân nhanh, lượng dầu sinh học tạo ra cao nhất, lên đến 60% [2].

Nhiệt phân nhanh biomass xảy ra trong điều kiện: thời gian từ 0,5 giây đến 5 giây, nhiệt độ từ 400°C đến 500°C. Các kiểu lò thường được sử dụng để thực hiện được các điều kiện nhiệt phân nhanh là: lò lớp sôi, hình nón quay, chân không, ly tâm [3].

Hiện tại, nhóm nghiên cứu của chúng tôi chọn phương án nhiệt phân nhanh biomass trong lò lớp sôi. Một trong những yếu tố quan trọng để duy trì chế độ lớp sôi của biomass và lớp cát trong lò là các thông số động lực. Xác định các thông số động lực quá trình nhiệt phân biomass bằng công nghệ lò lớp sôi là cơ sở để chúng ta thiết kế, chế

Abstract - Research on dynamics of multiphase flows in fluidised bed reactor is the foundation for calculating and designing equipment of biofuel production system by biomass pyrolysis technology. By combining the equations of multi-phase flow with simulation software, the authors has simulated the dynamics parameters in fluidised bed reactor. The Eulerian approach is applied during the process of simulations. Simulation results include the determination of pressure drop, gas velocity, volume fraction of the phases in the pyrolysis reactor with a capacity of 800 g/h. These data are applied as the basis for the calculation and design of pyrolysis reactor by fluidised bed technology, laying foundation for the research and application of energy from biomass for biofuel production.

Key words - biomass; pyrolysis; dynamic; fluidised bed reactor; biofuel.

tạo và vận hành thiết bị này.

Đặc điểm của lò lớp sôi là phụ thuộc vào loại nhiên liệu, kích thước nhiên liệu, số lượng và kích cỡ hạt cát. Tương ứng với mỗi trường hợp sẽ có chế độ động lực học (như áp suất, lưu lượng dòng khí, mức độ hòa trộn của biomass và cát) khác nhau. Việc xác định các thông số động lực này bằng phương pháp nghiên cứu thực nghiệm rất tốn thời gian và chi phí, vì vậy để giảm bớt thời gian nghiên cứu chúng tôi thực hiện việc mô phỏng động lực trong lò lớp sôi trên máy tính. Kết quả mô phỏng là cơ sở để người thiết kế chọn lựa các thông số động lực học nhằm duy trì lớp sôi với các loại nhiên liệu khác nhau.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Mô hình toán

Việc mô phỏng động lực quá trình nhiệt phân biomass trong lò lớp sôi được thực hiện dựa trên cơ sở các phương trình chuyển động của dòng nhiều pha. Các phương trình chính được sử dụng: phương trình liên tục, phương trình mômen động lượng, phương trình cân bằng năng lượng.

2.1.1. Phương trình liên tục

$$\text{Với pha khí: } \frac{\partial(\epsilon_g \rho_g)}{\partial \tau} + \nabla \cdot (\epsilon_g \rho_g \mathbf{v}_g) = 0$$

$$\text{Với pha rắn: } \frac{\partial(\epsilon_s \rho_s)}{\partial \tau} + \nabla \cdot (\epsilon_s \rho_s \mathbf{v}_s) = 0$$

2.1.2. Phương trình bảo toàn động lượng

Dựa vào Định luật II Newton, phương trình bảo toàn động lượng được phát biểu thành biểu thức toán học như sau [4]:

Với pha khí:

$$\frac{\partial}{\partial \tau} (\epsilon_g \rho_g v_g) + \nabla (\epsilon_g \rho_g v_g v_g) = -\epsilon_g \nabla p + \nabla \cdot \xi_g + \epsilon_g \rho_g g$$

$$+ K_{gs} (v_g - v_s)$$

Với pha rắn:

$$\frac{\partial}{\partial \tau} (\epsilon_s \rho_s v_s) + \nabla \cdot (\epsilon_s \rho_s v_s v_s) = -\epsilon_s \nabla p - \nabla p_s + \nabla \cdot \xi_s + \epsilon_s \rho_s g$$

$$+ K_{gs} (v_g - v_s)$$

Trong đó:

$$\xi_i = \epsilon_i \mu_i (\nabla v_i + \nabla v_i^T) + \epsilon_i \left(\lambda_i - \frac{2}{3} \mu_i \right) \nabla \cdot v_i I_i$$

Theo Gidaspow [5], hệ số K_{gs} được xác định theo công thức:

+ Nếu $\epsilon_g > 0,8$ thì $K_{gs} = \frac{3}{4} C_d \frac{\epsilon_s \epsilon_g \rho_g |v_s - v_g|}{d_s} \epsilon_g^{-2,65}$

+ Nếu $\epsilon_g < 0,8$ thì $K_{gs} = 150 \frac{\epsilon_s^2 \mu_g}{\epsilon_g d_s^2} + 1,75 \frac{\epsilon_s \rho_g |v_s - v_g|}{d_s}$

Hệ số C_d xác định theo công thức:

$$C_d = \frac{24}{\epsilon_g Re_s} \left[1 + 0,15 (\epsilon_g Re_s)^{0,687} \right]$$

Với $Re_s = \frac{d_s \rho_g |v_s - v_g|}{\mu_g}$

2.1.3. Phương trình bảo toàn năng lượng

Phương trình bảo toàn năng lượng của dòng nhiều pha được viết theo phương trình sau [5]:

$$\frac{\partial}{\partial \tau} (\alpha_i \rho_i h_i) + \nabla \cdot (\alpha_i \rho_i \bar{v}_i h_i) = \alpha_i \frac{\partial p_i}{\partial \tau} + \xi_i : \nabla \bar{v}_i - \nabla \cdot q_i + S_i$$

Trong đó, μ_i : Độ nhớt rớt; h_s : Entanpi của chất rắn [kJ/kg]; q_s : mật độ dòng nhiệt [W/m²]; S_i : Năng lượng sinh ra trong quá trình nhiệt phân; ϵ : Mật độ thể tích; g : Pha khí; s : Pha rắn; ρ : Khối lượng riêng [kg/m³]; I : Tensor ứng suất; μ : Độ nhớt phân tử [kg/sm]; λ : Độ nhớt tổng hợp [kg/sm].

2.2. Mô hình mô phỏng

Bảng 1. Các thông số đầu vào

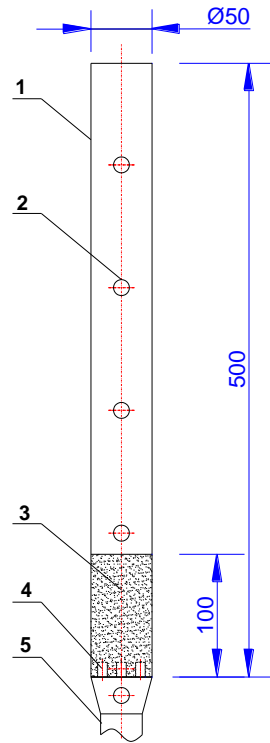
Đại lượng	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
Khối lượng riêng của bã mía	ρ_p	kg/m ³	700
Đường kính bã mía	Φ_p	mm	2
Khối lượng riêng khí N ₂	ρ_g	kg/m ³	1,25
Độ nhớt khí N ₂	μ_g	kg/ms	1,79x10 ⁻⁵
Vận tốc khí N ₂	v_g	m/s	0,35
Đường kính cát	Φ_s	mm	1
Khối lượng riêng của cát	ρ_s	kg/m ³	2.500

2.2.1. Mô hình

Thiết bị thí nghiệm động lực học quá trình nhiệt phân nhanh trong lò lớp sôi (Hình 1):

+ Ống phun: đường kính $\Phi_{\text{đf}} = 8\text{mm}$, chiều cao $h = 12\text{mm}$, số lượng: 3 cái;

+ Ống trụ: đường kính $\Phi_{\text{th}} = 50\text{mm}$, chiều cao $h = 500\text{mm}$.



Hình 1. Mô hình động lực học trong lò lớp sôi
1. Thân lò; 2. Đầu đo áp suất; 3. Lớp cát; 4. Ống phun; 5. Ống dẫn khí N₂ vào

2.2.2. Mục tiêu mô phỏng

Mục tiêu của quá trình mô phỏng bao gồm:

- + Khảo sát vận tốc dòng khí dọc theo thân lò;
- + Xác định tổn thất áp suất lớp sôi;
- + Xác định mật độ thể tích giữa các pha: cát, biomass trong hỗn hợp dọc theo thân lò;

Đặc điểm của quá trình mô phỏng:

- + Quá trình mô phỏng được thực hiện theo lưu đồ thuật toán (Hình 2);
- + Chia lưới mô hình lò nhiệt phân biomass trong lò lớp sôi thể hiện trong Hình 3;
- + Kết quả mô phỏng được xuất dưới dạng số hay hình ảnh.

3. Kết quả nghiên cứu và bình luận

3.1. Xác định tổn thất áp suất lớp sôi

Kết quả mô phỏng tổn thất áp suất của khí nitơ trong lò nhiệt phân được thể hiện trên Hình 4.

Từ kết quả mô phỏng ta có các nhận xét:

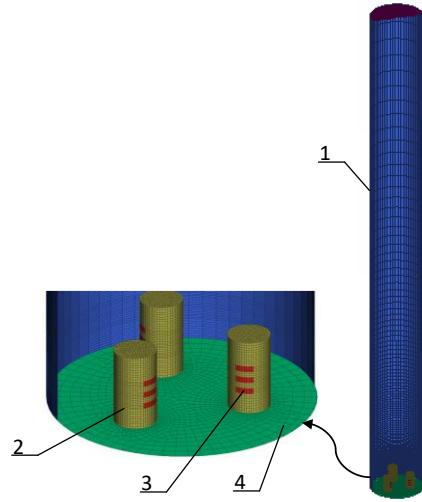
- + Trở lực trung bình của lớp sôi từ 750 đến 1.500Pa;
- + Càng về sau, trở lực lớp sôi càng ổn định và duy trì khoảng 800Pa.

3.2. Xác định vận tốc khí dọc theo buồng nhiệt phân

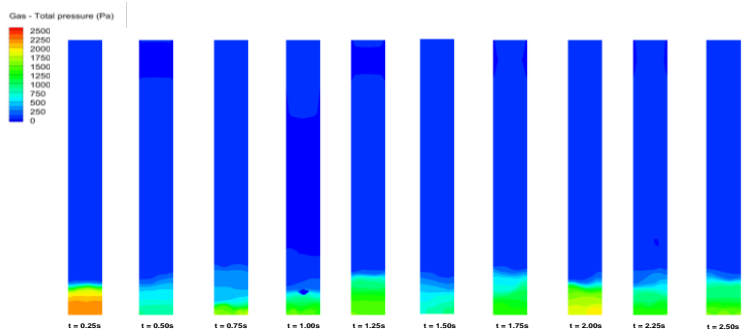
Để tính toán thiết kế hệ thống thiết bị thu hồi chất lỏng từ quá trình nhiệt phân, ta cần phải xác định tốc độ dòng khí ra khỏi lò lớp sôi. Hình 5 là kết quả mô phỏng vận tốc của khí dọc theo thân lò lớp sôi.

Từ kết quả mô phỏng ta có các nhận xét:

- + Tại vùng có ống phun khí, tốc độ cao nhất $\omega = 2,5\text{ m/s}$;
- + Vận tốc đầu ra của lò lớp sôi khoảng từ 0,22 đến 0,24 m/s.

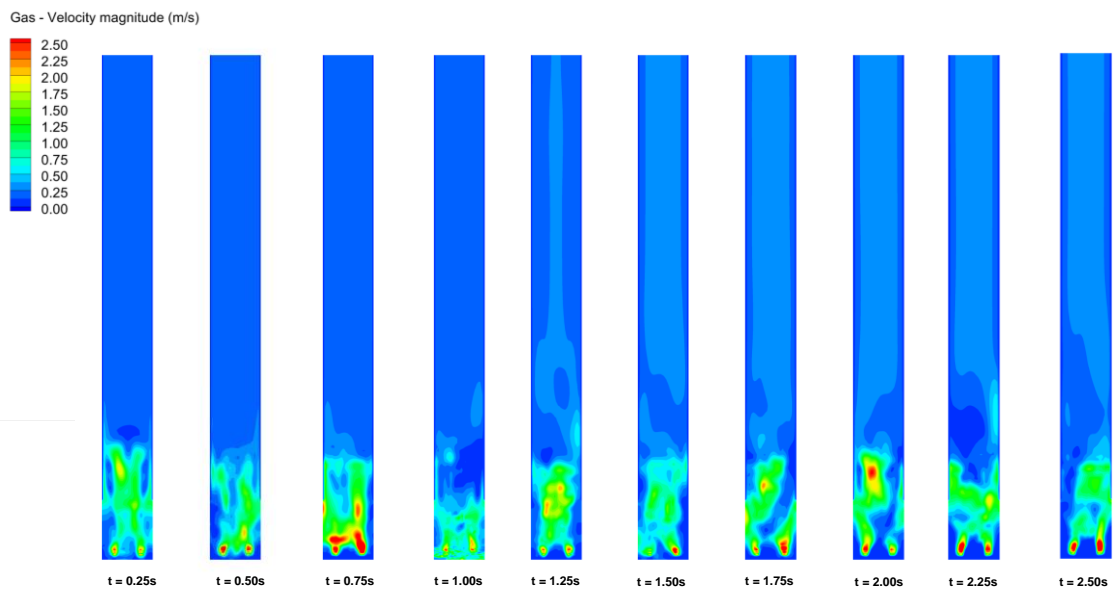


Hình 3. Mô hình mô phỏng và chia lưới bề mặt
1. Thân lò, 2. Ống phun, 3. Khe phun khí, 4. Mặt sàng gắn ống phun

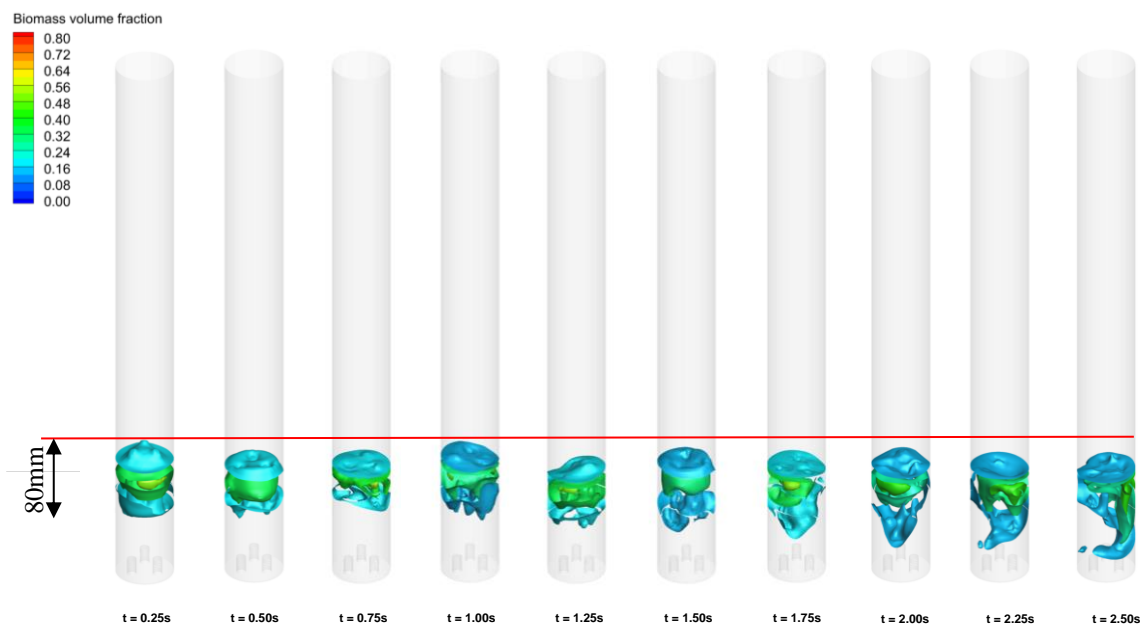


Hình 2. Lưu đồ thuật toán

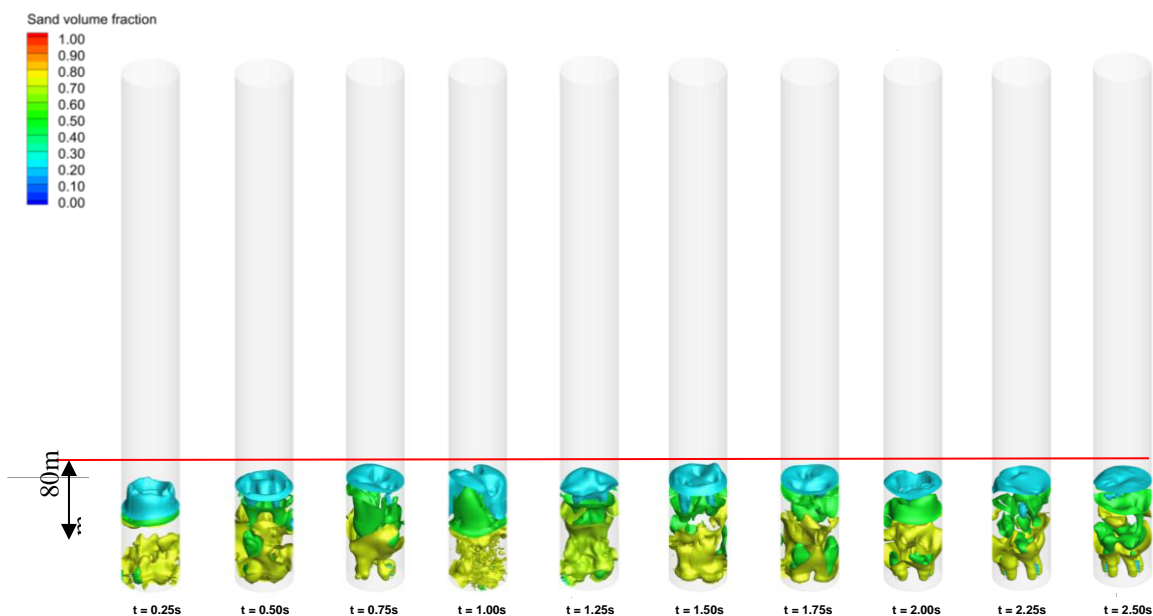
Hình 4. Trở lực lớp sôi



Hình 5. Vận tốc khí nitơ dọc theo thân lò



Hình 6. Mật độ thể tích của biomass trong lò nhiệt phân



Hình 7. Mật độ thể tích của cát trong lò nhiệt phân

3.3. Mật độ thể tích của biomass, cát dọc theo lò

Nhiệm vụ của cát trong lò lớp sôi là cung cấp nhiệt trung gian từ khí nitơ đến biomass và duy trì ổn định chế độ lớp sôi. Vì vậy, cần phải xác định vị trí để mật độ thể tích của biomass và cát đều có giá trị tối ưu, qua đó ta tìm được vị trí để cấp biomass vào lò nhiệt phân.

Kết quả mô phỏng trên Hình 6 và Hình 7.

Nhận xét: Vị trí cấp nhiên liệu được xác định tương ứng với vị trí có tỉ lệ thể tích của cát và biomass cùng lớn nhất. Theo kết quả mô phỏng ta thấy tại vị trí cách mặt sàng 80mm, mật độ thể tích trung bình của biomass là 40% tương ứng với mật độ thể tích cát là 40% là vị trí tối ưu nhất để xác định vị trí cấp nhiên liệu biomass vào lò nhiệt phân.

4. Kết luận

Kết hợp các phương trình của dòng chuyển động nhiều pha với phần mềm mô phỏng, tác giả đã mô phỏng được các thông số động học trong lớp sôi. Kết quả mô phỏng là cơ sở để nhóm nghiên cứu tiếp tục nghiên cứu thiết kế, chế tạo thiết bị nhiệt phân biomass trong lò lớp sôi để sản xuất dầu sinh học.

Kết quả mô phỏng:

+ Trở lực lớp sôi trung bình từ 750Pa đến 1500Pa và giá trị ổn định duy trì khoảng 800Pa. Đây là cơ sở chọn áp suất của dòng khí nitơ cấp vào lò nhiệt phân để duy trì lớp sôi cho biomass và cát.

+ Vận tốc lớn nhất là tại vùng ống phun và đạt 2,5m/s, vận tốc đầu ra của lớp sôi nằm trong khoảng 0,2 - 0,24 m/s.

Đây là cơ sở để thiết kế các thiết bị thu hồi sản phẩm từ quá trình nhiệt phân.

+ Mật độ thể tích trung bình của Biomass là 40%, tương ứng với mật độ thể tích cát là 40% tại vị trí cách mặt sàng 80mm là vị trí tối ưu nhất để cấp nhiệt. Đây là cơ sở để xác định vị trí cấp biomass cho lò nhiệt phân với hiệu quả trao đổi nhiệt cao nhất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Đặng Ngọc Anh, Trần Thị Kim Hoa, Nguyễn Trung Kiên, Bùi Hải

Linh, Đặng Tuyết Phương, Vũ Anh Tuấn, Nguyễn Thị Vân, Hoàng Yên, (2009), Sản xuất dầu sinh học từ rom rạ bằng phương pháp nhiệt phân có và không có xúc tác, *Tạp chí Hóa học*, T.47 (4A), pp. 536-540.

- [2] Bridgwater, A.V., Meier, D., Radlein, D., "An overview of fast pyrolysis of biomass", *Org. Geochem.*, 1999, 30 pp. 1479-1493.
- [3] Trung Ngọc Trinh, "Fast pyrolysis of ligin, macroalgae and sewage sluge", Ph.D. Thesis, 2013.
- [4] Ansys Inc, "Ansys Fluent Theory guide", 2013.
- [5] D.Gidaspow, "Multiphase flow and fluidization", Academic press, Boston, MA.1994.

(BBT nhận bài: 18/04/2015, phản biện xong: 06/05/2015)