

TÍNH VẬN TỐC LẮNG CỦA HẠT QUẢ LƯU CHẤT PHI NEWTON LOẠI GIẢ DẼO

Vũ Bá Minh – Phạm Văn Bôn – Nguyễn Duy Lam

Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 03 tháng 12 năm 2001, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 21 tháng 12 năm 2001)

TÓM TẮT: Báo cáo trình bày phương pháp tính vận tốc lắng của hạt cầu quả lưu chất phi Newton loại giả dẻo (pseudoplastic) và được kiểm chứng bằng thực nghiệm với dung dịch CMC 1,5%, trong đó tính chất lưu biến của dung dịch phi Newton được xác định bằng phương pháp đo thời gian chảy.

1. GIỚI THIỆU

Xác định vận tốc lắng cân bằng của hạt trong lưu chất phi Newton là một trong những thông số cần thiết tính toán khi thiết kế thiết bị nghệ hóa học, khoáng chất và thực phẩm...Thí dụ như tính toán quá trình vận chuyển thủy lực vật liệu rời trong lưu chất phi Newton, huyền phù ba pha rắn – lỏng - khí trong thiết bị phản ứng tầng lưu hóa, sản xuất sơn (hạt mịn), tạo nên các huyền phù trong quá trình khoan khai thác dầu khí (hạt thô)...Trong một số trường hợp quá trình lắng của hạt qua lưu chất phi Newton cỡ hạt và loại lưu chất có tầm quan trọng đặc biệt.

Trong thời gian qua thường sử dụng phương pháp tính vận tốc cân bằng của hạt qua lưu chất phi Newton theo phương pháp dùng cho lưu chất Newton [3]. Tuy nhiên với lưu chất phi Newton nói chung, lưu chất phi Newton độc lập với thời gian nói riêng, việc tính toán như vậy sẽ không chính xác.

2. LƯU CHẤT PHI NEWTON

Tương tự như lưu chất Newton, phương pháp này cũng sử dụng các nhóm số vô thứ nguyên để biểu diễn hiện tượng lồi cuốn lên hạt cầu. Chuyển động ổn định của một hạt cầu trong lưu chất phi Newton theo luật lũy thừa không giới hạn có thể được mô tả theo ba nhóm số vô thứ nguyên sau:

Hệ số lồi cuốn C_d :

$$C_d = \frac{F_d}{\frac{1}{2} \rho_L v^2 \frac{\pi d^2}{4}} = \frac{8F_d}{\rho_L v^2 \pi d^2} = \frac{2,548F_d}{\rho_L v^2 d^2} \quad (1)$$

Số Reynolds:

$$Re = \frac{\rho_L v^{2-n} d^n}{K} = \frac{\rho_L v^{2-1} d^n}{K} \quad (2)$$

Chỉ số đặc trưng lưu biến của lưu chất phi Newton theo luật lũy thừa n . với $n = 1$, $K = \mu$, (2) trở thành phương trình tính số Re cho lưu chất Newton.

Do đó ta có thể viết: $C_d = f(Re, n)$ (3)

Với hạt cầu rơi với vận tốc cân bằng dưới tác dụng của trọng lực, lực lồi cuốn F_D bằng lực đẩy của lưu chất lên hạt.

$$F_d = \frac{\pi d^3}{6} (\rho_s - \rho_L) g \quad (4)$$

Và phương trình có thể viết lại như sau:

$$C_d = \frac{4}{3} \frac{gd}{v^2} \left(\frac{\rho_s - \rho_L}{\rho_L} \right) \quad (5)$$

Từ thực nghiệm và lý thuyết [2] cho thấy dòng chảy trượt (creeping) xảy ra với $Re \leq 1$ cho lưu chất phi Newton. Tại điều kiện này, phương trình (3) có dạng cụ thể là:

$$C_d = \frac{24}{Re} x(n) \quad (6)$$

Trong đó $x(n)$ là hệ số hiệu chỉnh cho định luật Stokes để giải thích cho ảnh hưởng của lưu chất phi Newton lên ảnh hưởng của hạt [1]

Bảng 1: Giá trị của $x(n)$

N	1,4	1,2	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,2
X(n)	0,570	0,827	1,000	1,140	1,236	1,320	1,381	1,442	1,440	1,398

Để tính vận tốc cân bằng, sắp xếp lại phương trình (6) như sau:

$$v = \left[\frac{gd^{n+1}(\rho_s - \rho_L)}{18Kx(n)} \right]^{\frac{1}{n}} \quad (7)$$

Như vậy, nếu biết tính chất của chất lỏng phi Newton loại giả dẻo (ρ_L, K, n) và hạt cầu (ρ_s) ta có thể dùng (7) để tính v khi biết d hoặc ngược lại với điều kiện $Re \leq 1$, tuy nhiên, giá trị Re lại chưa được xác định trước.

Để khắc phục trở ngại này, ta sử dụng khái niệm vận tốc hạt cầu v_N và đường kính hạt cầu chuẩn hóa: [1]

$$v_N = \left(\frac{Re}{C_d^n} \right)^{\frac{1}{n+2}} = v \left[\frac{\rho_L}{K} \left\{ \frac{3\rho_L}{4g(\rho_s - \rho_L)} \right\}^n \right]^{\frac{1}{n+2}} \quad (8)$$

$$d_N = \left(Re^2 C_d^{2-n} \right)^{\frac{1}{n+2}} = d \left[\left(\frac{\rho_L}{K} \right)^2 \left\{ \frac{4g(\rho_s - \rho_L)}{3\rho_L} \right\}^{2-n} \right]^{\frac{1}{n+2}} \quad (9)$$

Qua hai phương trình trên cho thấy v_N độc lập với d và d_N độc lập với v . Ta có thể thiết lập mối quan hệ giữa v_N và d_N bằng cách dùng các kết quả của $C_d = f(Re, n)$ có trong các tài liệu [2] và đặc trưng của hạt cầu thay đổi theo Re nên để tiện lợi ta chia làm hai vùng khảo sát: vùng Reynolds trung bình ($Re > 1$) và vùng Reynolds thấp ($Re < 1$).

2.1 Vùng Reynolds trung bình

Hình 1 cho thấy với một khoảng giá trị n nhất định các đường biểu diễn v_N và d_N là các đoạn thẳng. Như vậy ta có thể viết:

$$v_N = \alpha d_N + \beta \quad (10)$$

Các giá trị α, β cùng với khoảng giá trị v_N, d_N được trình bày trên bảng 2 và hình 2. Từ hình 2 ta xác định α và β ứng với giá trị n bất kỳ trong khoảng $0,4 < n < 1,0$

Bảng 2: Giá trị α và β

N	α	β	Khoảng giá trị	
			v_n	d_N
1,4	0,2738	0,2280	0,284–3,910	1,72 – 14,95
1,2	0,2465	0,2685	0,303–4,170	2,22 – 17,92
1,0	0,2214	0,3900	0,333 – 6,740	3,00 – 22,10
0,8	0,2277	0,6123	0,382 – 7,623	4,20 – 25,90
0,6	0,2422	1,0883	0,454 – 8,892	6,30 – 30,22
0,4	0,2908	2,6090	0,554 – 10,55	10,61 – 34,11

2.2 Vùng Reynolds thấp

Nếu giá trị v_N và d_N tính được trong bảng 2 ta có thể kết luận là do dòng chảy trượt khi $Re < 1$. Trong trường hợp này ta có thể tính vận tốc (hay đường kính) hạt cầu theo các bước sau:

- (1) Tính v_N (hoặc d_N) theo phương trình (8) hoặc (9)
- (2) Với lưu chất phi Newton có $n < 1$, giá trị tính của v_N và d_N nhỏ hơn giá trị tương ứng cho ở bảng 2 và dùng phương trình (7)
- (3) Nếu giá trị tính được ở bước 1 nằm trong khoảng cho ở bảng 2, chọn các giá trị tương ứng của α và β ở bảng 2 hoặc hình 2 và dùng phương trình để tính v_N hay d_N
- (4) Xác định vận tốc hạt cầu v hay đường kính d từ phương trình (8) hoặc (9).

3. THIẾT BỊ THÍ NGHIỆM

- (1) Thí nghiệm với hạt cầu (bi) bằng thép có đường kính và khối lượng riêng như sau:

Bảng 3: Các thông số của bi

Loại bi	Đường kính d , mm	Khối lượng riêng ρ_s , kg/m ³
A - Bi thép	6,41	7630
B - Bi thép	4,82	7618
C - Bi thép	3,95	7776
D - Bi thép	3,00	8193
E - Bi nhựa	6,00	3093
F - Bi nhựa	4,50	3000

- (2) Dụng cụ thí nghiệm là ống thủy tinh có đường kính trong $D=40\text{mm}$, chiều dài $L=1,10\text{m}$. phần chiều dài đo là $0,6\text{m}$ để hạt rơi ở trạng thái cân bằng.

Nhiều thí nghiệm được thực hiện cho thấy vận tốc lắng rất nhỏ, điều này cần thiết để cho số Re thấp. Đường kính hạt và đường kính ống được chọn sao $d/D < 0,1$. Điều này là cần thiết để tránh hiệu ứng tường.

Trước khi bắt đầu thí nghiệm tất cả các hạt được rửa sạch, để khô và thấm ướt với dung dịch thí nghiệm nhằm loại trừ bụi, bọt khí, dầu mỡ dính vào viên bi khi thí nghiệm.

Để giá trị đo có độ chính xác cao, thí nghiệm lập lại 20 lần với sai số chuẩn thời gian giữa các lần đo là 5%

- (3) Lưu chất phi Newton sử dụng là CMC 1,5% có các tính chất K , n được xác định cho ở bảng 6 và 7

4. KẾT QUẢ

4.1 Số liệu đo

Bảng 4 : Số liệu đo với CMC 1,5%, 25⁰C

D, mm	ρ_s , kg/m ³	t_{tb} sau 5 lần đo, s	v_t , m/s
6,41	7630	4,88	0,123
4,82	7618	8,46	0,0709
3,95	7776	13,79	0,0435
3,00	8193	25,58	0,0235
6,00	3093	43,00	0,014
4,50	3000	100,49	0,006

Bảng 5 : Số liệu đo với CMC 1,5%, 20⁰C

D, mm	ρ_s , kg/m ³	t_{tb} sau 5 lần đo, s	v_t , m/s
6,41	7630	5,44	0,1103
4,82	7618	9,88	0,0607
3,95	7776	15,96	0,0376
3,00	8193	30,20	0,0199
6,00	3093	49,76	0,0121
4,50	3000	114,97	0,0052

4.2 Kết quả tính theo chương trình tính

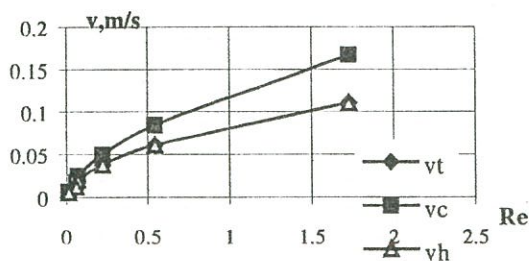
Bảng 6: Kết quả tính

CMC 1,5%, 20 ⁰ C, $\rho = 1003$ kg/m ³ , $n = 0,523$; $K = 7,0$ Pa.s ^{0,525}								
Kết quả thí nghiệm				Kết quả tính				
D, mm	ρ_s , kg/m ³	t_{tb} , s	v_t , m/s	t, s	v_h , m/s	v_c , m/s	Re	C_d
6,41	7630	5,44	0,1103	5,46	0,1099	0,1663	1,73	20,015
4,82	7618	9,88	0,0607	9,89	0,0607	0,0841	0,544	58,912
3,95	7776	15,96	0,0376	16,02	0,0375	0,0493	0,223	143,656
3,00	8193	30,2	0,0199	29,94	0,02	0,0248	0,07	456,01
6,00	3093	49,76	0,0121	50,21	0,0119	0,0177	0,061	523,354
4,50	3000	114,97	0,0052	116,03	0,0052	0,007	0,014	2371,92

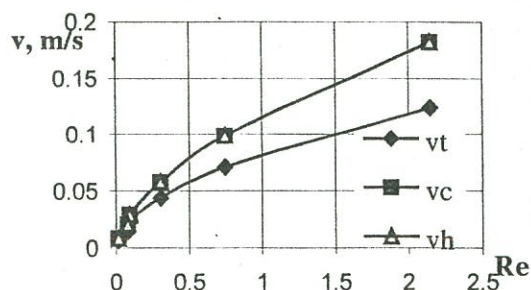
Bảng 7 : Kết quả tính

CMC 1,5%, 25 ⁰ C, $\rho = 1003$ kg/m ³ , $n = 0,523$; $K = 7,0$ Pa.s ^{0,523}								
Kết quả thí nghiệm				Kết quả tính				
d, mm	ρ_s , kg/m ³	t_{tb} , s	v_t , m/s	t, s	v_h , m/s	v_c , m/s	Re	C_d
6,41	7630	4,88	0,123	4,99	0,1202	0,1818	2,148	15,932
4,82	7618	8,46	0,0709	8,44	0,071	0,0984	0,748	45,754
3,95	7776	13,79	0,0435	13,69	0,0438	0,0577	0,306	111,84
3,00	8193	25,58	0,0235	25,63	0,0234	0,029	0,096	356,500
6,00	3093	43,00	0,014	43,16	0,0139	0,0206	0,083	412,340
4,50	3000	100,49	0,006	99,96	0,006	0,0082	0,018	1901,33

Hình 1 So sánh vận tốc lắng thực và vận tốc tính toán của hạt lắng qua dung dịch CMC 1,5% ở 20⁰C



Hình 2 So sánh vận tốc lắng thực và vận tốc tính toán của hạt lắng qua dung dịch CMC 1,5% ở 25⁰C



Trong đó:

v_t : vận tốc lắng thực tế của bi đo được, m/s

v_c : vận tốc tính toán không kể đến hiệu ứng tường, m/s

v_h : vận tốc tính toán có kể đến hiệu ứng tường, m/s

5. NHẬN XÉT VÀ KẾT LUẬN

Qua phương pháp tính trên, được kiểm chứng bước đầu bằng thực nghiệm với dung dịch CMC cho thấy kết quả tính gần với thực nghiệm cho khoảng Re nhỏ, với số Re lớn, sai số này khá lớn. Điều này có thể giải thích do hiệu ứng tường ảnh hưởng lên vận tốc lắng của hạt. Đề tài sẽ khảo sát thêm ảnh hưởng này cùng với các loại dung dịch phi Newton loại giả dẻo khác nhau có khối lượng riêng khác nhau.

Các ký hiệu sử dụng trong bài:

F_d : lực lồi cuốn, N

d : đường kính hạt, m

v : vận tốc lắng, m/s

ρ_L : khối lượng riêng chất lỏng, kg/m³

ρ_S : khối lượng riêng chất rắn, kg/m³

n : chỉ số đặc trưng lưu biến

K : hệ số chỉ độ đậm đặc của lưu chất

METHOD OF SETTLING VELOCITY CALCULATING OF A PARTICLE THROUGH NON-NEWTONIAN FLUID (PSEUDOPLASTIC)

Vu Ba Minh – Pham Van Bon – Nguyen Duy Lam

University of Technology – VNU-HCM

(Received 03 December 2001, Revised 21 December 2001)

ABSTRACT: The paper presents the method of calculation of settling velocity of a particle through Non-Newtonian fluid (pseudoplastic) and being checked with the experimentals with 1.5% CMC solution in which its rheological property was determined by flowrate measurement method.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Raj chhabra, '*Calculating settling velocities of particles*', Chemical Engineering , 9/1995.
- [2] Vũ Bá Minh, '*Xác định tính chất lưu biến của dung dịch xanthan gum bằng phương pháp đo lưu lượng dòng chảy*', Tạp chí phát triển KH & CN, Đại Học Quốc gia TP.HCM, tập 3, 5 & 6/2000.
- [3] Mc Cabe & Smith, '*Unit operations in Chemical Engineering*', Chương 7, Mc Graw Hill, 1995.