

MÔ HÌNH BA LỚP THỦY LỰC CỦA DÒNG VẬN TẢI HAI PHA RẮN-LỎNG TRONG ĐƯỜNG ỐNG NGANG VÀ GẦN NGANG

TS. PHẠM ĐỨC THIÊN
Trường Đại học Mỏ-Địa chất

Vận tải hạt rắn bằng dòng chất lỏng là bài toán thường gặp trong kỹ thuật. Các kết quả nghiên cứu ứng dụng hiện nay chủ yếu tính toán vận tải trong trường hợp các hạt rắn theo cơ chế lơ lửng. Tuy nhiên, để đảm bảo lơ lửng các hạt hoàn toàn cần một vận tốc dòng chất lỏng lớn và đặc biệt khi kích thước hạt tăng thì thực hiện điều đó càng khó. Các nghiên cứu thực nghiệm gần đây khẳng định rằng tùy theo các yếu tố thủy lực của dòng chảy và tính chất vật lý của hạt rắn mà có thể hình thành ba lớp thủy lực trong đường ống. Vấn đề đặt ra hiện nay chưa có cơ sở lý thuyết để tính toán sự phụ thuộc giữa các yếu tố thủy lực và đặc tính của hạt vận chuyển đến sự hình thành lớp thủy lực trong đường ống. Đây là vấn đề đặt ra và quan tâm của tác giả.

1. Kết quả thí nghiệm về mô hình ba lớp thủy lực

Theo kết quả nghiên cứu thực nghiệm, một số tác giả [2], [3] khẳng định tùy theo đặc tính hạt vận chuyển, đặc tính chất lỏng, vận tốc dòng chảy mà có thể hình thành lớp hạt trên cạnh đáy của ống. Trên H.1 dưới đây giới thiệu một số hình ảnh sự tạo lớp trong vận chuyển.

Từ kết quả nghiên cứu thực nghiệm, tùy theo vận tốc dòng chảy mà ta có thể mô tả các dạng vận chuyển hạt rắn (H.2).

Trong trường hợp tổng quát, ta có thể mô tả dòng vận tải dưới dạng mô hình 3 lớp thủy lực: một lớp hạt tñnh ở dưới, một lớp hạt di chuyển ở trên nó và một lớp lơ lửng hỗn hợp ở phía trên.

2. Phát triển công thức toán học

Quá trình vận tải hạt rắn trong đường ống, tùy theo đặc tính thủy lực của dòng chảy hình thành nên cơ chế vận chuyển khác nhau, gồm cơ chế lơ lửng (các hạt rắn được phân tán trong môi trường chất lỏng), cơ chế nâng và trượt-lăn (khi xoáy rối

của dòng chất lỏng không đủ để phân tán hạt trong môi trường chất lỏng).

Để thiết lập mối quan hệ toán học của mô hình thủy lực 3 lớp, xét mô hình được phát triển dựa trên trường hợp mà dòng chảy hai pha rắn-chất lỏng tại một lưu lượng tồn tại 3 lớp thủy lực trong đường ống. Để có cơ sở phát triển toán học, ta mô tả và đặt lực lên mô hình thủy lực ba lớp như hình vẽ H.3. Từ hình H.3, công thức mômen tổng hợp tác động đối với điểm A:

$$F_D L_D + (F_L + F_B) \cdot L_G \geq F_G L_G \quad (1)$$

Trong đó: F_D - Lực cản; F_B - Lực đẩy nổi; F_G - Trọng lực; L_D - Khoảng cách tác dụng của lực cản; L_G - Khoảng cách tác dụng của trọng lực; L_L - Khoảng cách tác dụng của lực nâng.

Hai đại lượng đầu nhận được sự truyền mômen, đại lượng còn lại là mômen ngược. Khi mômen thuận mà sinh ra lực cản do chất lỏng nhớt lớn hơn so với mômen ngược (mà sinh ra do trọng lượng của hạt trên điểm di chuyển A) hạt bắt đầu chuyển động. Một hạt chuyển động cùng hướng với chất lỏng vận tải khi lực nâng không đủ lớn, đây là cơ chế trượt. Khi lực nâng đủ lớn để nâng hạt lên, hạt sẽ được nâng vào chất lỏng. Khi lực nâng bị giảm nhanh bởi sự giảm vận tốc chất lỏng do giảm diện tích lớp hạt (một sự tăng tiết diện dẫn của dòng chảy) nó bắt đầu lắng lại trên cạnh ống.

2.1. Các công thức liên tục

Công thức liên tục cho pha lỏng:

$$A_{sd} C_{sd} U_{sd} + A_{mb} C_{mb} U_{mb} = A_a C_t U_a \quad (2)$$

Công thức liên tục cho pha rắn

$$A_{sd}(1 - C_{sd})U_{sd} + A_{mb}(1 - C_{mb})U_{mb} = A_a(1 - C_t)U_a \quad (3)$$

Trong đó: A_{sd} , A_{mb} - Các tiết diện lớp lơ lửng và lớp hạt di chuyển; C_{sd} , C_{mb} - Các nồng độ thể tích hạt hạt lớp lơ lửng và lớp hạt di chuyển; U_{sd} , U_{mb} - Các vận tốc lớp lơ lửng và lớp hạt di chuyển; C_t - Tổng nồng độ thể tích hạt rắn; A - Tiết diện đường ống;

U - Vận tốc danh nghĩa của dòng chảy trong đường ống.

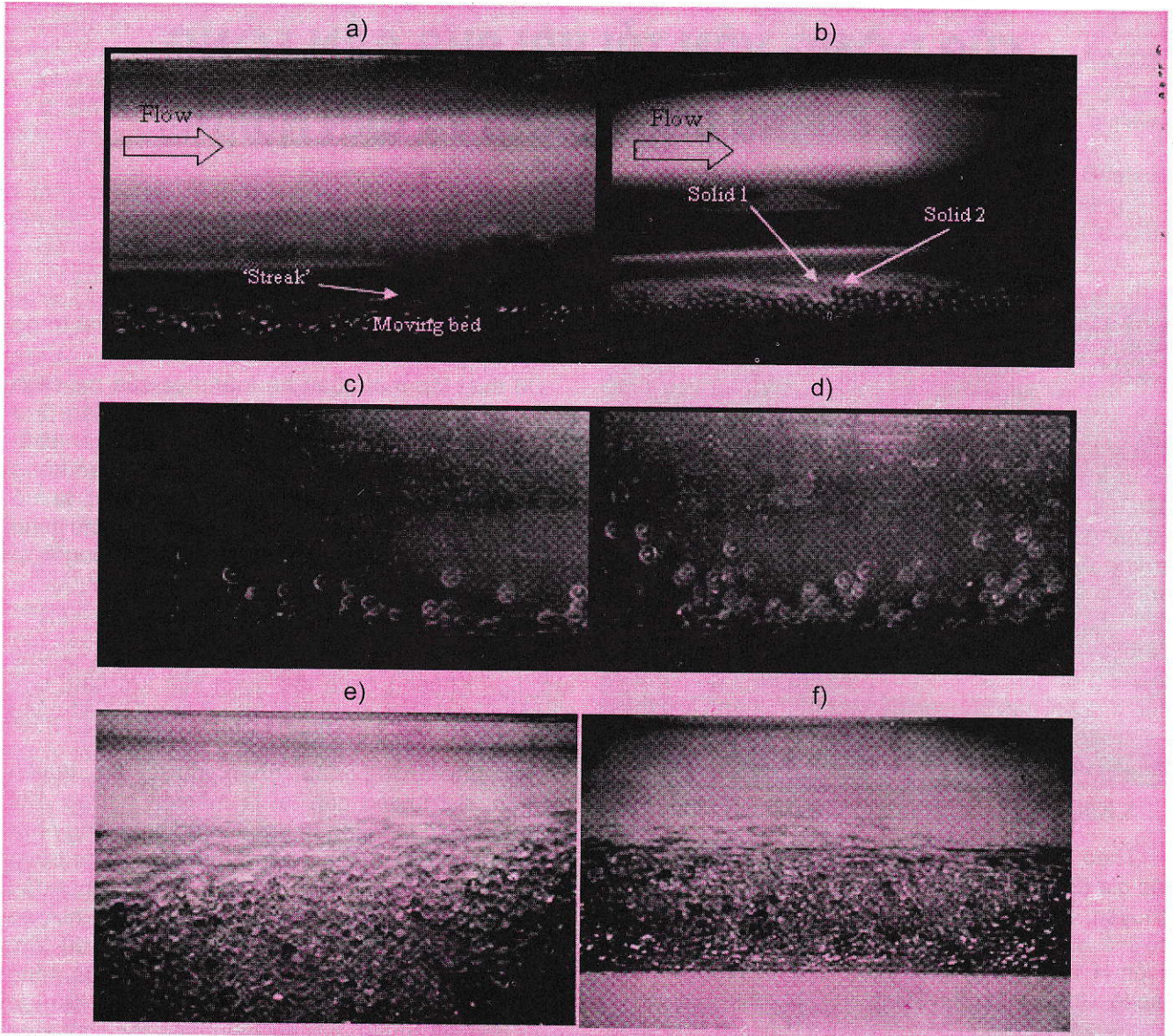
Vận tốc danh nghĩa trong đường ống:

$$U = Q/A, \quad (4)$$

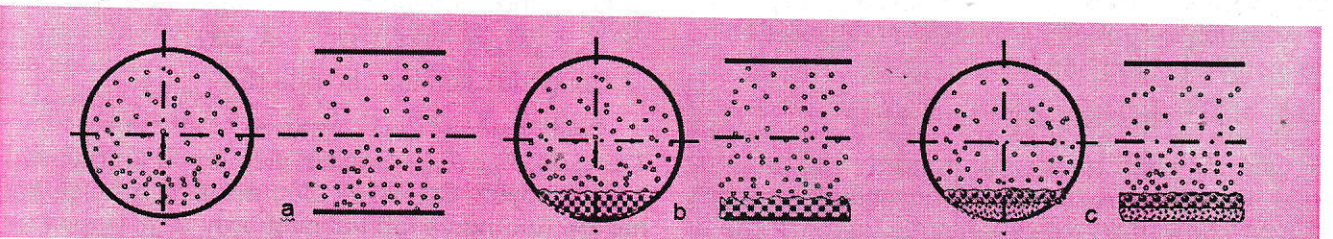
Với Q - Lưu lượng.

2.2. Các công thức cân bằng lực

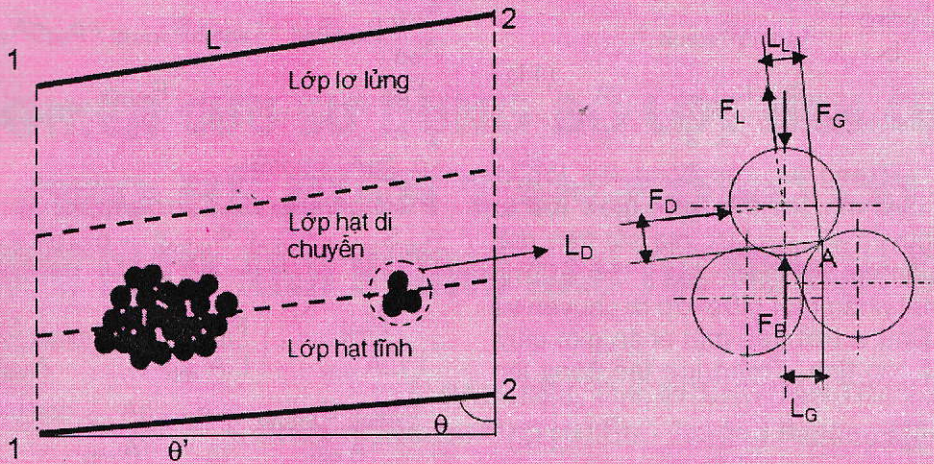
Hình H.4 minh họa lực và ứng suất tác động lên mỗi lớp trong ống trên chiều dài L.



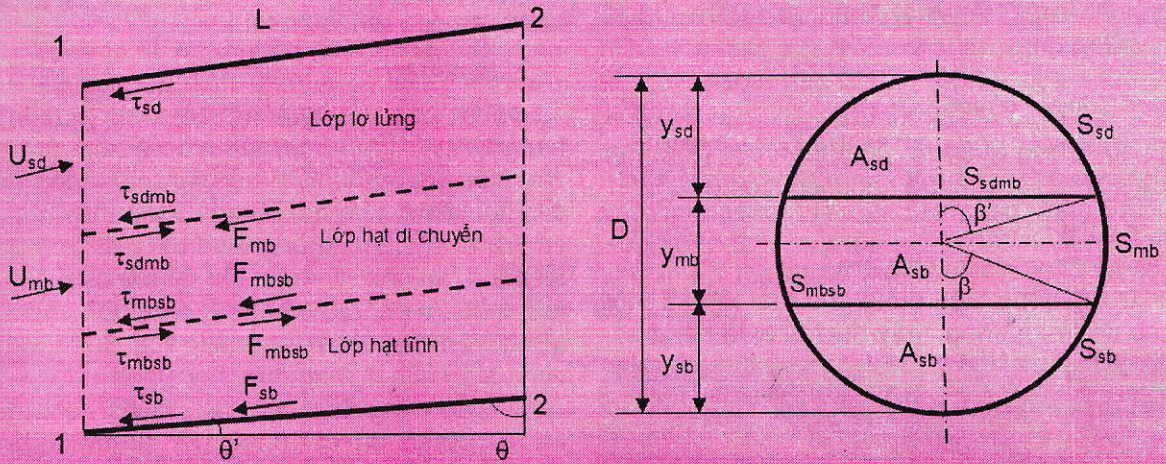
H.1. Hình ảnh tạo lớp theo nghiên cứu thực nghiệm của V.C. Kelessidis [3]: a - Dung dịch H₂O 0,5 % CMC ở vận tốc 0,064 m/s; b - Dung dịch H₂O 0,7 % CMC ở vận tốc 0,064 m/s; c - Dung dịch H₂O 0,5 % CMC ở vận tốc 0,084 m/s; d - Dung dịch H₂O 0,7 % CMC ở vận tốc 0,11 m/s; e - Hai lớp thủy lực; f - Ba lớp thủy lực



H.2. Các dạng vận chuyển của dòng chất lỏng vận tải: a - Phân tán lơ lửng; b - Hình thành một lớp hạt di chuyển; c - Hình thành một lớp hạt tĩnh và một lớp di chuyển (ba lớp)



H.3. Lực tác động lên một hạt ở tầng thấp của lớp hạt di chuyển



H.4. Biểu đồ biểu diễn ứng suất trên mô hình ba lớp

Lớp phân tán lơ lửng phía trên. Lớp phân tán lơ lửng phía trên là chất lỏng tương đối sạch hoặc là một hỗn hợp không đồng nhất chảy rối lơ lửng phụ thuộc vào điều kiện dòng chảy. Dưới dòng chảy ổn định, tổng các lực tác động lên phân tử dòng chảy được cho bởi:

$$A_{sd} \left(\frac{\Delta P}{L} \right) = \tau_{sd} S_{sd} + \tau_{sdmb} S_{sdmb} + \frac{F_{sdG}}{L} \quad (5)$$

Trong đó: τ_{sd} - Giá trị ứng suất trượt trên thành lớp lơ lửng; τ_{sdmb} - Giá trị ứng suất trượt trên mặt phân giới giữa lớp lơ lửng và lớp hạt di chuyển; S_{sd} là - Chu vi ướt lớp lơ lửng; S_{sdmb} - Chu vi ướt trên mặt phân giới giữa lớp lơ lửng và lớp di chuyển; F_{sdG} - Trọng lực tác động lên lớp phân tán lơ lửng,

$$F_{sdG} = \rho_{sd} g A_{sd} \cos \theta L \quad (6)$$

Tại đây: ρ_{sd} - Khối lượng riêng hiệu dụng của lớp phân tán lơ lửng; θ - Góc nghiêng ống.

Ứng suất trượt trên thành lớp lơ lửng và mặt phân giới giữa lớp lơ lửng và lớp di chuyển được cho bởi công thức:

$$\tau_{sd} = \frac{1}{2} \rho_{sd} U_{sd}^2 f_{sd} \quad (7)$$

$$\tau_{sdmb} = \frac{1}{2} \rho_{mb} (U_{sd}^2 - U_{mb}^2) f_{sdmb} \quad (8)$$

Theo mối quan hệ của hệ số ma sát của lớp phân tán (f_{sd}) và bề mặt phân giới giữa một lớp lơ lửng và lớp di chuyển (f_{sdmb}) được xác định:

$$f_{sd} = 0,00454 + 0,645 Re^{0,7} \quad (\text{Doron et al [1]}) \quad (9)$$

$$f_{sdmb} = h Re^p n^q \left(\frac{d_p}{D_{sd}} \right)^t \quad (\text{Martin et al [4]}) \quad (10)$$

Trong đó: $h=0,966368$; $p=-1,07116$; $q=2,34539$; $t=-2,34539$; D_{sd} - Đường kính thủy lực lớp lơ lửng, $D_{sd}=4A_{sd}/(S_{sd}+S_{sdmb})$.

Số Reynol (Re) của lớp lơ lửng được sử dụng cho cả hai f_{sd} và f_{sdmb} .

Lớp hạt di chuyển. Từ hình H.4, tổng tất cả các lực tác động lên vùng này là:

$$A_{sd} \left(\frac{\Delta P}{L} \right) = \left(\frac{F_{sdmb}}{L} \right) - \tau_{sdmb} S_{sdmb} + \left(\frac{F_{mbsb}}{L} \right) + \tau_{mbsb} S_{mbsb} + \frac{F_{mbG}}{L} \quad (11)$$

Trong đó: F_{mbG} - Trọng lực tác động lên lớp di chuyển; F_{sdmb} - Lực ma sát trên mặt giữa lớp lơ lửng và lớp di chuyển; F_{mbsb} - Lực ma sát trên mặt giữa lớp di chuyển và lớp tĩnh; τ_{mbsb} - Giá trị ứng suất trượt trên mặt phân giới giữa lớp di chuyển và lớp tĩnh; S_{mbsb} - Chu vi ướt trên mặt phân giới giữa lớp di chuyển và lớp tĩnh. Trọng lực tác động lên lớp di chuyển:

$$F_{mbG} = \rho_{mb} g A_{mb} \cos \theta \cdot L \quad (12)$$

Tại đây: ρ_{mb} - khối lượng riêng hiệu dụng của một lớp hạt di chuyển.

Ứng suất trượt trên mặt phân giới giữa lớp di chuyển và lớp tĩnh:

$$\tau_{mbsb} = \frac{1}{2} \rho_{mb} U_{mb}^2 f_{mbsb} \quad (13)$$

Theo sự tương quan đã phát triển bởi Doron et al [1], hệ số ma sát của lớp hạt di chuyển (f_{mbsb}):

$$f_{mbsb} = 0.046 Re^{-0.02} \quad (14)$$

với số Reynol của lớp di chuyển.

Khối lượng riêng hiệu dụng của mỗi lớp tại một điểm nào đó trong dòng chảy được coi là hằng số, xác định bởi:

$$\rho_{sd} = \rho_s C_{sd} + \rho_L (1 - C_{sd}); \quad (15)$$

$$\rho_{mb} = \rho_s C_{mb} + \rho_L (1 - C_{mb}). \quad (16)$$

Trong đó: ρ_s, ρ_L - Khối lượng riêng hạt rắn và chất lỏng.

4. Quan hệ các đại lượng giữa các lớp thủy lực

Phối hợp các công thức liên tục cho hạt rắn và chất lỏng công thức (2, 3), được:

$$A_{sd} U_{sd} + A_{mb} U_{mb} = A_a U_a \quad \text{hay}$$

$$A_{sd} U_{sd} = A_a U_a - A_{mb} U_{mb} \quad (17)$$

Từ công thức (2) rút C_{sd} và kết hợp công thức (17), nồng độ thể tích hạt rắn của một lớp phân tán lơ lửng C_{sd} nhận được:

$$C_{sd} = \frac{A_a C_t U_a - A_{mb} C_{mb} U_{mb}}{A_a U_a - A_{mb} U_{mb}} \quad (18)$$

Toàn bộ các đại lượng bên phải của công thức (18) là hàm số của các đại lượng chưa biết y_{mb} (chiều dày lớp mùn di chuyển); y_{sb} (chiều dày lớp mùn tĩnh) và U_{mb} là các đại lượng phụ thuộc vào điều kiện hoạt động. Giải các công thức (5, 11, 15, 16) tìm ra các chu vi ướt từ đó tính được các đại lượng chưa biết trên.

Từ công thức (5), rút theo Gradient áp suất thay vào công thức (11), thu được công thức sau:

$$\begin{aligned} \frac{A_{mb}}{A_{sd}} (\tau_{sd} S_{sd} + \tau_{sdmb} S_{sdmb} + \rho_{sd} g A_{sd} \cos \theta) = \\ = \frac{F_{mb}}{L} - \tau_{sdmb} S_{sdmb} + \frac{F_{mbsb}}{L} + \tau_{mbsb} S_{mbsb} + \rho_{mb} g A_{mb} \cos \theta \end{aligned} \quad (19)$$

Công thức (19) được sắp xếp lại:

$$\begin{aligned} \frac{\tau_{sd} S_{sd} + \tau_{sdmb} S_{sdmb} + \rho_{sd} g A_{sd} \cos \theta}{A_{sd}} = \\ = \left(\frac{F_{mb}}{L \cdot A_{mb}} \right) + \left(\frac{F_{mbsb}}{L \cdot A_{mb}} \right) + \frac{\tau_{mbsb} S_{mbsb}}{A_{mb}} - \\ - \frac{\tau_{sdmb} S_{sdmb}}{A_{mb}} + \frac{\rho_{mb} g A_{mb} \cos \theta}{A_{mb}} \end{aligned} \quad (20)$$

Trên cơ sở các thông số thủy lực giải các công thức đó đồng thời sẽ tìm được đặc tính lớp thủy lực trong quá trình vận tải.

5. Kết luận

❖ Từ các kết quả nghiên cứu thực nghiệm, bằng lý luận toán học, tác giả đã xây dựng được các biểu thức giải tích thể hiện mối quan hệ giữa các đại lượng của mô hình H.3 lớp thủy lực, đây là cơ sở vững chắc khẳng định rằng đường ống vận tải dòng hai pha rắn-lỏng tồn tại mô hình 3 lớp thủy lực, một lớp phân tán lơ lửng phía trên, một lớp hạt di chuyển ở giữa và một lớp hạt đứng yên dưới cạnh thấp của đường ống.

❖ Các công thức lý luận chứng minh được ở trên là cơ sở để xây dựng mô hình mô phỏng để tính toán sự vận tải hạt rắn và tối ưu hóa thủy lực trong vận chuyển dòng 2 pha rắn-lỏng. □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Doron, P. and Barnea, D.: "A Three-Layer Model for Solid-Liquid Flow in Horizontal Pipes," International Journal of Multiphase Flow, Vol. 19, No. 6, 1993, p.1029-1043.
2. Kelessidis, V. C. and Mpandelis, G. E., Flow Patterns and Minimum Suspension Velocity for Efficient Cuttings Transport in Horizontal and Deviated Wells in Coiled-Tubing Drilling, Paper SPE 81746 presented at the SPE/ICoTA Coiled Tubing Conference, Houston, TX, 8-9 April (2003).
3. Kelessidis, V.C. G.Mpandelis, A.Koutroulis, and T.Michalakis, Significant Parameters Affecting Efficient Cuttings Transport In Horizontal And Deviated Wellbores In Coil Tubing Drilling: A Critical Review, Paper presented at the 1st International Symposium of the Faculty of Mines (ITU) on Earth Sciences and Engineering, 16-18 May 2002, Maslak, Istanbul, Turkey.

(Xem tiếp trang 20)

❖ Tín hiệu đầu ra của cầu không rõ ràng, đặc biệt khi nồng độ khí metan cao hơn 9 %, do lượng oxy cần để duy trì quá trình đốt cháy metan giảm nên cường độ cháy của khí metan trong bộ cảm biến có xu hướng giảm rõ rệt và đó là nguyên nhân dẫn đến tín hiệu ra của cầu bị giảm. H.6 mô tả sự ảnh hưởng của tín hiệu đo đối với sự thay đổi nồng độ khí metan từ 0÷100 %;

❖ Độ trôi lớn: Do bộ cảm biến làm việc trong điều kiện môi trường thay đổi (nhiệt độ, độ ẩm...), đặc biệt là giá trị nhiệt độ trong buồng đốt liên tục bị thay đổi theo tỷ lệ của nồng độ khí metan, dẫn đến điện áp ra của cầu khác 0.

Do vậy, để các đầu đo loại này làm việc chính xác, người ta phải thường xuyên hiệu chuẩn đầu đo, theo nhà sản xuất từ 1÷3 tháng hiệu chuẩn 1 lần. Tuy nhiên, do điều kiện làm việc trong hầm lò Việt Nam rất khắc nghiệt nên thường chỉ 2 tuần phải hiệu chuẩn 1 lần.

3.3. Nguyên lý truyền nhiệt

Độ dẫn nhiệt λ_m của hỗn hợp metan và không khí (với nồng độ C_m) được tính bằng công thức:

$$\lambda_m = C_m \cdot \lambda_{CH_4} + (1 - C_m) \cdot \lambda_p \quad (3)$$

Trong đó: λ_{CH_4} - Độ dẫn nhiệt của khí metan; λ_p - Độ dẫn nhiệt của không khí.

Nguyên lý hoạt động: Dựa trên độ dẫn nhiệt khác nhau giữa khí metan và không khí (độ dẫn nhiệt của khí metan lớn hơn không khí), theo nguyên lý của cầu Winson, các phần tử của cảm biến sẽ được đốt nóng bằng điện áp cung cấp cho mạch cầu. Trường hợp không có khí metan đi vào mạch cầu, cầu cân bằng và khi đó điện áp ra bằng 0, trường hợp trong không khí có khí metan, ở nhiệt độ làm việc, khí metan tác dụng làm giá trị điện trở của phần tử nhạy thay đổi (giá trị điện trở giảm, khi nồng độ khí metan tăng), giá trị điện trở này phụ thuộc vào nồng độ của khí metan, làm mạch cầu mất cân bằng, khi đó điện áp ra khác 0. Điện áp ra trên cầu tỷ lệ với nồng độ khí metan.

Loại đầu đo hoạt động theo nguyên lý này có ưu điểm cơ bản là độ nhạy cao, dải đo rộng và giá thành rẻ, tuy nhiên có nhiều nhược điểm, đó là bị ảnh hưởng bởi hơi nước, khí CO₂ trong môi trường đo; tín hiệu ra nhỏ, xử lý tín hiệu phức tạp; không có tính chọn lọc; tiêu thụ năng lượng lớn và độ bền thấp. Ngoài ra cũng như các đầu đo hoạt động trên nguyên tắc đốt xúc tác, để đảm bảo độ chính xác, các đầu đo này phải thường xuyên được kiểm tra và hiệu chuẩn theo định kỳ.

4. Kết luận

Mỗi loại đầu đo nồng độ khí metan đều có những ưu, nhược điểm nhất định. Tìm hiểu các loại đầu đo này người quản lý, vận hành có cơ sở trong việc lựa chọn loại đầu đo, tổ chức vận hành, bảo trì và sửa

chữa chúng một cách phù hợp, góp phần nâng cao hiệu quả làm việc của hệ thống, nâng cao tuổi thọ của đầu đo, khi chúng phải làm việc trong môi trường hầm lò nóng, ẩm như ở nước ta. □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Stanisław CIERPISZ, Kazimierz MIŚKIEWICZ, Krzysztof MUSIOL, Antoni WOJACZEK . System gazometryczne w gornictwie. Politechnika Śląska. Gliwice. 2007.
2. Carboautomatyka, EMAG, HASO. System gazometryczne w gornictwie; Technical Catalog;
3. [http://en.wikipedia.org/wiki/Methane_\(data_page\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Methane_(data_page)).

Người biên tập: Đào Đức Tạo

SUMMARY

So far, 32 centralized automatic methane gas monitoring systems has been installed and operated stably at the 27 underground coal mines and as planned, many new ones will come into use in the near future. The paper refers to the description of the structure as well as the operating principles of the methane gas probes. This has been considered as the fundamental and necessary knowledge for installing, operating and maintainance the gas monitoring systems at the mines.

MÔ HÌNH BA LỚP...

(Tiếp theo trang 24)

Người biên tập: Võ Trọng Hùng

SUMMARY

This paper introduces mathematics method to establish relationship between hydraulic parameters and solids properties of three layer hydraulic model in transport pipeline. The equations were built are basement ensure the three layer hydraulic model (a stationary bed at the bottom, a moving bed above, and a suspension layer at the top) in transport pipeline with two phases solid-liquid.