

MỘT SỐ KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VỀ QUY LUẬT TĂNG ÁP SUẤT CỦA SÓNG PHẢN XẠ TRÊN VAN ĐÓNG CỦA ỒNG CHỨA HỖN HỢP CHẤT LỎNG - HƠI

Nguyễn Văn Tuấn*, Lê Thu Thủy, Nguyễn Thị Kim Thoa

Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp - ĐH Thái Nguyên

TÓM TẮT

Hỗn hợp lỏng - hơi là hỗn hợp chất lỏng chứa bọt hơi. Hỗn hợp này thường gặp nhiều trong tự nhiên và các quá trình kỹ thuật. Trong báo cáo này sẽ trình bày quá trình tăng áp suất của sóng phản xạ tại van đóng ống (chứa hỗn hợp chất lỏng - hơi) khi có sóng áp suất lan truyền trong hỗn hợp và tác động vào van. Phương pháp số đã được sử dụng để tính toán, nghiên cứu và phân tích sự ảnh hưởng của cường độ áp suất ban đầu của sóng áp suất và nồng độ thể tích pha hơi trong hỗn hợp đến sự tăng áp suất tại van đóng của sóng phản xạ. Từ các kết quả nhận được ở trên ta xác định được quy luật tăng áp suất của sóng phản xạ tại van đóng ống chứa hỗn hợp chất lỏng - hơi.

Từ khóa: *Chất lỏng; bọt hơi; sóng; van đóng; pha; hỗn hợp; áp suất*

Ngày nhận bài: 25/6/2020; Ngày hoàn thiện: 26/8/2020; Ngày đăng: 31/8/2020

SOME RESEARCH RESULTS ON THE LAW OF PRESSURE INCREASE OF THE WAVES REFLECTED AT THE CLOSE VALVE WITHIN THE PIPE CONTAINING MIXTURE OF LIQUID WITH VAPOUR BUBBLES

Nguyen Van Tuan*, Le Thu Thuy, Nguyen Thi Kim Thoa

TNU - University of Technology

ABSTRACT

The liquid - vapour mixture is a mixture of liquid with vapour bubbles. This type of mixture is met in many natural and industrial processes. This paper presents the process of pressure increase of the waves reflected at the close valve of pipe (contain mixture of liquid - vapour) when the pressure wave propagates in the mixture of liquid with vapour bubbles and impacts on the valve. The numerical method is applied to calculate, study and analyze the influence of initial intensity of pressure and the volume fraction of vapour phase in the mixture on the pressure increase of the waves reflected at the valve. From the results achieved above, the law of the pressure increase of the waves reflected at the close valve is determined.

Keywords: *Liquid; vapour bubbles; wave; close valve; phase; pressure; mixture*

Received: 25/6/2020; Revised: 26/8/2020; Published: 31/8/2020

* Corresponding author. Email: nltuan@tnut.edu.vn

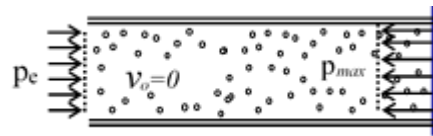
1. Mở đầu

Hỗn hợp chất lỏng chứa bọt hơi là môi trường hai pha có tính chất đặc biệt. Trong hỗn hợp do có sự kết hợp của các tính chất phi tuyến, tính phân tán và hao tán năng lượng, nên biểu đồ mô tả các sóng có nhiều dạng. Đặc biệt, khi thay đổi các điều kiện thủy động lực, sẽ dẫn đến sự thay đổi mạnh các cấu trúc về sóng và các quá trình tương tác giữa các pha. Khi sóng lan truyền trong hỗn hợp, các bọt trong hỗn hợp sẽ bị co nén, và chính sự co nén của bọt trong hỗn hợp sẽ xảy ra hiện tượng trao đổi nhiệt và trao đổi khối lượng giữa các pha và xuất hiện vận tốc của hỗn hợp. Về động lực học sóng, đã có nhiều công trình khoa học trong nước và trên thế giới quan tâm nghiên cứu các quá trình lan truyền của sóng trong hỗn hợp chất lỏng chứa bọt [1], [2]. Tính phi tuyến của hỗn hợp lỏng bọt được thể hiện rõ trong quá trình tương tác giữa các sóng được trình bày trong [3], [4]. Trong các quá trình trên, một vấn đề không thể tách rời, đó là quá trình trao đổi nhiệt và khối lượng giữa các pha, vấn đề này có thể tìm hiểu tại [3], [5]. Các hiện tượng bất thường về sự tăng áp suất xảy ra trong hỗn hợp khi sóng lan truyền và bị va đập vào tường cứng được nghiên cứu và trình bày trong [1], [6], [7]. Trong trường hợp khi sóng áp suất lan truyền và tác động vào van đóng của ống chứa hỗn hợp lỏng - hơi, các bọt bị co nén mạnh, áp suất tại van tăng cao, sóng sẽ bị phản xạ ngược lại từ van, lan truyền trong hỗn hợp, đây là một vấn đề đã và đang được các nhà khoa học trên thế giới và trong nước quan tâm nghiên cứu. Trong báo cáo này, sẽ trình bày quá trình lan truyền của sóng áp suất trong hỗn hợp lỏng - hơi tới van đóng ống và bị phản xạ ngược lại từ đó, trên cơ sở các kết quả nghiên cứu, sử dụng phương pháp nội suy, quy luật của quá trình tăng áp suất tại van sẽ được chỉ ra. Kết quả nghiên cứu sẽ mang lại đóng góp mới, có nhiều ý nghĩa cho lĩnh vực động lực học dòng chảy nhiều pha, ứng dụng trong các ngành công nghiệp năng lượng, chế biến và vận chuyển dầu khí, ứng dụng trong các hệ

thống thủy lực của ô tô và máy xây dựng.

2. Mô hình toán học

Môi trường hai pha được sử dụng là hỗn hợp của chất lỏng chứa bọt hơi được chứa trong ống nằm ngang có chiều dài L . Giả thiết rằng, bọt hơi hình cầu được phân bố đều trong hỗn hợp, không có sự phân chia bọt và nồng độ thể tích pha hơi không quá lớn [7]. Cuối đường ống có một van đóng ống được chế tạo bởi vật liệu cứng tuyệt đối, hỗn hợp đứng yên trong ống. Khi có áp suất ban đầu tác động, sóng áp suất lan truyền vào trong hỗn hợp, các bọt bị co nén và hỗn hợp bị nén lại, sóng áp suất tác động vào van đóng, áp suất tại đó tăng cao và phản xạ từ đó lan truyền về hướng ngược lại trong ống.



Hình 1. Quá trình lan truyền và phản xạ tại van đóng của sóng áp suất trong hỗn hợp chất lỏng chứa bọt hơi

Trên cơ sở các phương trình bảo toàn khối lượng, số lượng bọt và xung lượng:

$$\frac{\partial \rho_1}{\partial t} + \frac{\rho \rho_1}{\rho_0} \frac{\partial v}{\partial \xi} = -4\pi R^2 n j; \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho_2}{\partial t} + \frac{\rho \rho_2}{\rho_0} \frac{\partial v}{\partial \xi} = 4\pi R^2 n j; \quad (2)$$

$$\frac{\partial n}{\partial t} + \frac{\rho n}{\rho_0} \frac{\partial v}{\partial \xi} = 0; \quad (3)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial \xi} = 0; \quad (4)$$

$$\rho_i = \alpha_i \rho_i^0; \alpha_1 + \alpha_2 = 1; \rho = \rho_1 + \rho_2; \alpha_2 = \frac{4}{3} \pi R^3 n; \quad (5)$$

$$p = \alpha_1 p_1 + \alpha_2 \left(p_2 - \frac{2\sigma}{R} \right);$$

Các phương trình trên kết hợp với các phương trình thay đổi khối lượng của từng bọt, phương trình dòng nhiệt trong pha lỏng, phương trình dòng nhiệt trong pha hơi, phương trình tương thích biến dạng Rayleigh

- Plesset biểu diễn áp suất của các pha và bán kính bọt, lập thành một hệ phương trình thủy nhiệt động lực học kín mô tả quá trình lan truyền các sóng xung kích, các quá trình tương tác pha, các quá trình trao đổi nhiệt và khối lượng giữa các pha trong hỗn hợp lỏng – hơi [8]. Trong hệ phương trình trên, các chỉ số dưới $i = 1, 2, 0$ là các tham số của chất lỏng, hơi và trạng thái cân bằng ban đầu; α_i , p_i , ρ_i , ρ_0 là phân thể tích, áp suất, mật độ trung bình và mật độ thực của pha thứ i ; v là vận tốc hỗn hợp; n là số lượng bọt trong một đơn vị thể tích; R là bán kính bọt; j là tỷ lệ của sự chuyển pha trong một đơn vị diện tích bề mặt giữa các pha; σ là hệ số sức căng bề mặt; ξ là tọa độ Lagrange và t là thời gian.

Giải hệ phương trình thủy – nhiệt động lực học trên với các điều kiện đầu và điều kiện biên sau:

$$t = 0: p_1 = p_0; p_2 = p_0 + \frac{2\sigma}{R}; R = R_0; T_1 = T_2 = T_0;$$

$$v_0 = 0; w_{1\sigma} = w_{2\sigma} = 0; \rho = \rho_0.$$

$$\xi = 0: p = p_e;$$

$$\left. \frac{\partial p}{\partial \xi} \right|_{\xi=L} = 0;$$

Trong đó, L là độ dài của ống khảo sát.

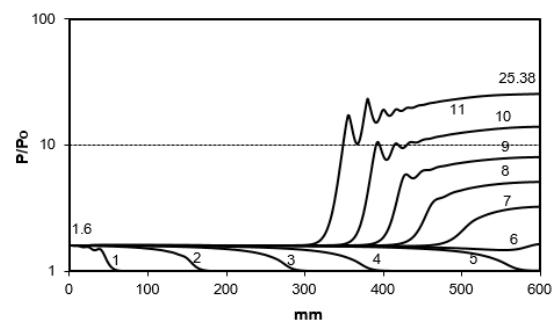
Hệ phương trình trên đã được giải bằng phương pháp số, dựa trên phương pháp Ôle biến đổi và phương pháp khử đuôi qua thuật toán Thomas. Chương trình tính đã được xây dựng và đã được kiểm định bằng cách so sánh các kết quả nhận được với một số kết quả thực nghiệm và đã được trình bày tại [7]. Chương trình này được sử dụng để nghiên cứu và phân tích các quá trình lan truyền của sóng áp suất trong hỗn hợp lỏng – hơi, phân tích và tính toán quá trình tăng áp suất của sóng phản xạ tại van đóng và lan truyền ngược lại trong ống chứa hỗn hợp.

3. Các kết quả và bàn luận

Trong các hình 2 – 4 là các profile biểu diễn quá trình tiến triển của sóng áp suất và quá

trình phản xạ của nó sau khi tác động vào van đóng trong hỗn hợp của nước chứa bọt hơi. Trên biểu đồ minh họa, thì trục thẳng đứng là các giá trị của áp suất trong hỗn hợp của quá trình tiến triển và phản xạ bởi van, nó được lấy theo tọa độ logarit, còn trục nằm ngang được lấy theo tọa độ không gian ξ . Các quá trình này phụ thuộc vào điều kiện ban đầu, các điều kiện biên, cường độ sóng và các tham số vật chất của hỗn hợp.

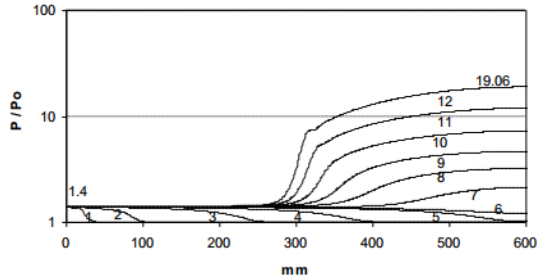
Trong trường hợp này có $p_0 = 0,1$ MPa, phân thể tích của pha hơi $\alpha_{20} = 5\%$, tại $\xi = 0$ có tác động của áp suất với cường độ không đổi $p_e = 0,16$ MPa, bán kính bọt trong hỗn hợp ban đầu là $R = 1,5$ mm. Từ các kết quả được trình bày trong hình 2, có thể thấy cường độ của sóng áp suất trong hỗn hợp sau khi phản xạ bởi tường cứng, nó được tăng tới giá trị lớn hơn nhiều so với giá trị của cường độ áp suất ban đầu tác động vào hỗn hợp, giá trị này có thể đạt tới 2,538 MPa.



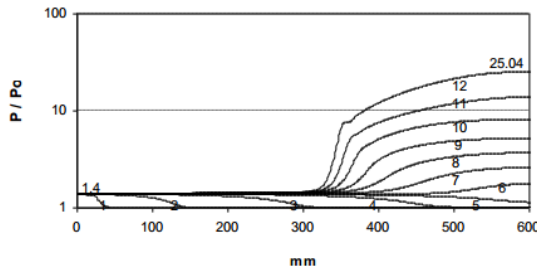
Hình 2. Quá trình lan truyền và phản xạ tại van đóng của sóng áp suất. Các đường cong từ 1-11 là các profile áp suất tương ứng với các khoảng thời gian: $t = 1; 3,5; 6,5; 9; 14; 15,5; 16,3; 16,5; 16,62; 16,68$ và $16,72$ ms

Trong hình 3 là kết quả nhận được quá trình tăng áp suất tại van đóng và tăng áp suất trong hỗn hợp khi các điều kiện ban đầu, các điều kiện biên, cường độ sóng áp suất và các tham số vật chất được cho như sau: $p_0 = 0,1$ MPa, $R_0 = 1,5$ mm, phân thể tích của pha hơi $\alpha_{20} = 5\%$, tại $\xi = 0$ cường độ của sóng áp suất tác động vào hỗn hợp $p_e = 0,14$ MPa. Từ các kết quả biểu diễn trong hình 2 đã cho thấy, cường độ của sóng áp suất trong hỗn hợp sau khi phản xạ từ van đóng ống tăng cao hơn nhiều

so với giá trị ban đầu của nó. Trong trường hợp này, áp suất phản xạ trên van có thể đạt tới 1,906 MPa.



Hình 3. Quá trình lan truyền và phản xạ tại van đóng của sóng áp suất. Các đường cong 1-12 là các profile áp suất tương ứng với các khoảng thời gian là: $t = 0,6; 2; 6,1; 10,3; 16,1; 18,5; 19,8; 20,7; 20,42; 20,51; 20,56$ và $20,62$ ms



Hình 4. Quá trình lan truyền và phản xạ tại van đóng của sóng áp suất. Các đường cong 1-12 là các profile áp suất tương ứng với các khoảng thời gian là: $t = 0,79; 3,73; 9,3; 15,6; 20,85; 22,7; 32,48; 23,76; 23,85; 23,9; 23,93$ và $23,95$ ms

Khi tăng phần thể tích của pha hơi $\alpha_{20} = 7\%$, vẫn giữ nguyên $p_e = 0,14$ MPa và $R_0 = 1,5$ mm. Từ các kết quả được trình bày trong hình 4, có thể thấy cường độ của sóng áp suất trong hỗn hợp sau khi phản xạ bởi tường cứng được tăng mạnh, giá trị này có thể đạt tới 2,504 MPa.

Từ các kết quả biểu diễn trong hình 2 và 3, có thể thấy trong cùng điều kiện về cấu trúc của hỗn hợp, khi tăng cường độ của áp suất ban đầu tác động vào hỗn hợp thì cường độ nhận

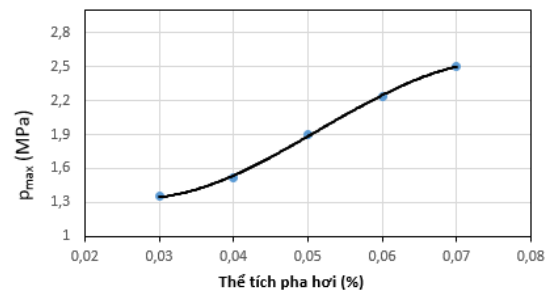
được trên van đóng tăng. Cụ thể, khi áp suất ban đầu $p_e = 0,14$ MPa thì giá trị của áp suất nhận được trên van là $p_{\max} = 1,906$ MPa, còn khi $p_e = 0,16$ MPa thì $p_{\max} = 2,538$ MPa. Giá trị của áp suất phản xạ lớn hơn nhiều (có thể lớn hơn từ 10 – 15 lần) so với giá trị của cường độ áp suất ban đầu tác động vào hỗn hợp.

Cường độ của sóng phản xạ bởi van đóng tăng khi tăng nồng độ thể tích pha hơi trong hỗn hợp. Các kết quả tính toán được trình bày trong bảng 1 cho thấy sự ảnh hưởng của nồng độ thể tích pha hơi trong hỗn hợp lên giá trị cực đại nhận được trên van đóng.

Sử dụng phương pháp nội suy để xác định được quy luật tăng áp suất trên van phụ thuộc vào nồng độ thể tích của pha hơi trong hỗn hợp α_{20} . Quy luật tăng áp suất trên van của sóng phản xạ phụ thuộc vào nồng độ thể tích pha hơi được biểu diễn bởi hàm bậc ba có dạng như sau:

$$P(\alpha_{20}) = -22333 \alpha_{20}^3 + 3449,3 \alpha_{20}^2 - 139,65 \alpha_{20} + 3,0343$$

Trong đó, P là áp suất cực đại nhận được trên van đóng, α_{20} là phần thể tích của pha hơi trong hỗn hợp. Đồ thị của hàm số trên được biểu diễn trong hình 5.



Hình 5. Quy luật của sự tăng áp suất của sóng phản xạ tại van đóng phụ thuộc vào nồng độ thể tích pha hơi trong hỗn hợp α_{20}

Bảng 1. Áp suất lớn nhất nhận được trên van đóng phụ thuộc vào nồng độ thể tích pha hơi trong hỗn hợp

Cường độ áp suất ban đầu p_e	Áp suất lớn nhất trên van đóng $p_{\max}$ (MPa)				
	$\alpha_{20} = 3 \%$	$\alpha_{20} = 4 \%$	$\alpha_{20} = 5 \%$	$\alpha_{20} = 6 \%$	$\alpha_{20} = 7 \%$
0,14MPa	1,35	1,523	1,906	2,234	2,504

Như vậy, sự tăng áp suất tại van đóng ống của quá trình phản xạ phụ thuộc mạnh vào nồng độ thể tích của pha hơi trong hỗn hợp. Khi nồng độ thể tích của pha hơi tăng thì cường độ của sóng áp suất sau khi phản xạ bởi van đóng tăng.

4. Kết luận

Trong báo cáo đã trình bày quá trình lan truyền của sóng áp suất trong hỗn hợp lỏng – hơi tới van đóng ống, tác động vào van và bị phản xạ ngược lại từ đó. Sự ảnh hưởng của cường độ áp suất ban đầu của sóng áp suất và nồng độ thể tích pha hơi trong hỗn hợp đến quy luật tăng áp suất của sóng phản xạ đã được nghiên cứu và phân tích. Trên cơ sở các kết quả nhận được có thể đưa ra một số kết luận như sau:

- Trong cùng điều kiện về cấu trúc của hỗn hợp, khi tăng cường độ của áp suất ban đầu tác động vào hỗn hợp thì cường độ của áp suất nhận được trên van đóng của sóng phản xạ tăng. Giá trị của áp suất phản xạ lớn hơn nhiều (có thể lớn hơn từ 10 – 15 lần) so với giá trị của cường độ áp suất ban đầu tác động vào hỗn hợp.

- Quy luật tăng áp suất trên van đóng của sóng phản xạ phụ thuộc vào nồng độ thể tích pha hơi được biểu diễn bởi hàm bậc ba có dạng như sau:

$$P(\alpha_{20}) = - 22333 \alpha_{20}^3 + 3449,3 \alpha_{20}^2 - 139,65 \alpha_{20} + 3,0343$$

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả bài báo này cảm ơn sự hỗ trợ nguồn kinh phí từ đề tài cấp cơ sở của Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp, Đại học Thái Nguyên.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1]. T. V. Nguyen, T. K. T. Nguyen, and L. D. Hoang, "Some investigation results of pressure increase at liquid – vapour mixtures interruption valve," *Vietnam Mechanical Engineering Journal*, vol. Special, pp. 267-273, Mar. 2017.
- [2]. A. A. Gubaigullin, O. Sh. Beregova, and S. A. Bekishev, "Shock waves in non-Newtonian bubbly liquids," *International Journal Multiphase Flow*, vol. 27, pp. 635-655, 2001.
- [3]. H. N. Duong, and T. V. Nguyen, "Interphase Heat-Mass Transfer in Bubbly Liquid and its Influence on Wave Propagation Processes," *Proceedings of the 2nd International Forum on Heat Transfer*, Tokyo, Japan, paper ID N128, September 17-19, 2008.
- [4]. T. V. Nguyen, and H. N. Duong, "The interaction process of Short Waves in some Liquid - Vapour mixtures," *In Proceedings of Scientific works of the National Conference on Fluid mechanical*, July 2006, pp. 515-526,
- [5]. H. N. Duong, and T. V. Nguyen, "Interphase Heat-Mass Transfer in Wave Propagation Processes in Bubbly Liquid," *Proceedings of the International Workshop Thermal Hydrodynamics of Multiphase Flows and Applications*, Hanoi, Vietnam, May 2009, pp. 11-18.
- [6]. T. V. Nguyen, L. D. Hoang, and T. K. T. Nguyen, "Some investigation results of the influence of propagation process of pressure waves in mixture of liquid - vapour on the velocity of mixtures," *TNU - Journal of Science and Technology*, vol. 185, no. 09, pp. 33-37, 2018.
- [7]. H. N. Duong, and T. V. Nguyen, "Waves reflected by Solid Wall and Interaction in Vapour Bubbly Liquid," *The 6th International Conference on Nuclear Thermal Hydraulics, Operations and Safety (NUTHOS-6)*, Nara, Japan, paper ID. N6P016, October 4-8, 2004.
- [8]. R. I. Nigmatulin, *Dynamics of Multiphase Media*. Hemisphere, publ. Corp., Washington, 1991, vol. 2, chap. 6.