

MỘT SỐ KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VỀ ẢNH HƯỞNG QUÁ TRÌNH LAN TRUYỀN CỦA SÓNG ÁP SUẤT TRONG HỖN HỢP LỎNG - HƠI TỚI VẬN TỐC CỦA HỖN HỢP

Nguyễn Văn Tuấn*, Hoàng Diệu Linh, 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 quá trình kỹ thuật. Trong bài báo này sẽ trình bày một số kết quả nghiên cứu về quá trình lan truyền của sóng áp suất trong hỗn hợp chất lỏng chứa bọt hơi dẫn đến sự thay đổi bán kính của bọt và sự ảnh hưởng của nó tới vận tốc của một số hỗn hợp chất lỏng chứa bọt hơi như: nước, dầu thô, freon 21....

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

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 của 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 nên 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 [4] và [6], các hiện tượng bất thường xảy ra khi sóng lan truyền và bị va đập vào van đóng chặn dòng chảy hai pha được nghiên cứu và được trình bày trong [1] và [6]; tính phi tuyến của hỗn hợp lỏng bọt được thể hiện rõ trong quá trình tương tác giữa các sóng được trình bày trong [2] và [5]; 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 [2] và [3]. Ngoài ra khi có áp suất tác động vào hỗn hợp, các bọt bị co nén dẫn tới việc xuất hiện

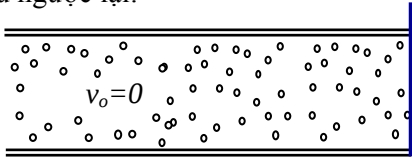
vận tốc của hỗn hợp hay đã có quá trình chuyển hóa năng lượng, đây là một vấn đề đã và đang được các nhà khoa học trên thế giới và trong nước quan tâm nghiên cứu. Trong bài báo này, sẽ trình bày một số kết quả nghiên cứu về quá trình lan truyền sóng áp suất trong hỗn hợp, quá trình này dẫn đến xuất hiện vận tốc hỗn hợp của một số hỗn hợp chất lỏng chứa bọt hơi. Kết quả nghiên cứu mang lại đóng góp mới, có nhiều ý nghĩa cho lĩnh vực động lực học dòng chảy nhiều pha và ứng dụng trong các ngành công nghiệp năng lượng, chế biến và vận chuyển dầu khí.

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 [6]. Cuối đường ống có một van đóng ống được chế tạo bởi vật liệu cứng tuyệt đối, hỗn hợp đứng yên trong ống. Tại một thời điểm nào đó có áp suất ban đầu tác động, sóng áp suất lan truyền vào trong hỗn hợp, hỗn hợp bị nén lại, các bọt bị co nén, từ đó xuất hiện vận tốc của hỗn hợp. Quá trình nén hỗn hợp lan truyền tới cuối đường ống, và dừng lại tại van đóng, khi đó áp suất trong hỗn hợp tại van được tăng cao nên bắt đầu lan truyền

* Email: nltuan@tnut.edu.vn

ngược lại. Do sự chênh lệch áp suất trong hỗn hợp, khối chất lỏng sẽ ở trạng thái chảy ngược hay vận tốc của hỗn hợp cũng có chiều ngược lại.



Hình 1. Mô hình hỗn hợp Chất lỏng - Bọt tĩnh được chứa trong ống có van đóng

Trên cơ sở các phương trình bảo toàn khối lượng, số lượng bọt và xung lượng được trình bày như sau [3]:

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

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

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

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

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

$$p = \alpha_1 p_1 + \alpha_2 \left(p_2 - \frac{2\sigma}{R} \right); \quad (5)$$

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 [7]. 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 phần 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, điều kiện biên được thành lập trên cơ sở mô hình khảo sát đã đặt ra và được trình bày như sau:

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

$$R = R_0; T_1 = T_2 = T_0;$$

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

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

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

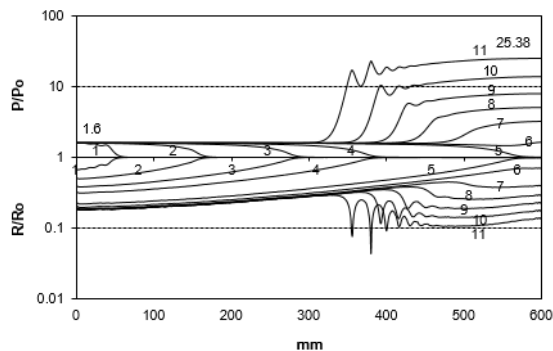
trong đó L là độ dài của ống khảo sát.

CÁC KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

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 [3]. 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, quá trình co nén làm thay đổi bán kính của bọt trong hỗn hợp và sự ảnh hưởng của nó tới quá trình xuất hiện vận tốc của hỗn hợp.

Trong hình 2 là các profil biểu diễn quá trình tiến triển của sóng áp suất, sự thay đổi của bán kính bọt và quá trình phản xạ của nó sau khi tác động vào van đóng trong hỗn hợp của nước sôi 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 và sự thay đổi bán kính bọt, 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, phần thể tích của pha hơi $\alpha_{20} = 5\%$, tại $\xi = 0$ có sóng dài tác động 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 25.38 MPa. Đồng thời, có thể thấy bọt hơi trong hỗn hợp cũng bị co nén mạnh, có những thời điểm bán kính bọt chỉ còn 0.258 mm.

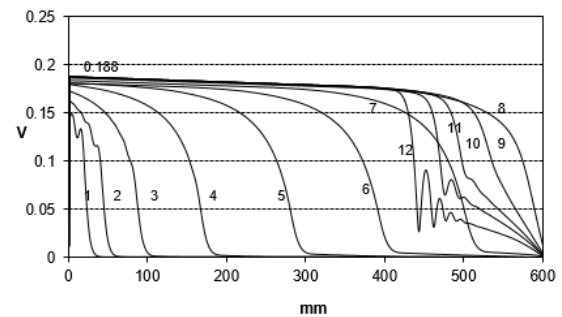


Hình 2. Các đường cong từ 1-11 là các profil áp suất lan truyền trong hỗn hợp và sự thay đổi của bán kính bọt tương ứng với các khoảng thời gian: $t = 1; 3.5; 6.5; 9; 14; 15.5; 16.3; 16.5; 16.62; 16.68$ và 16.72 ms.

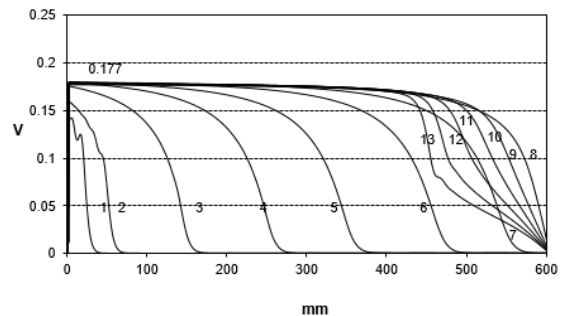
Khi có sóng áp suất tác động, lan truyền vào trong hỗn hợp, hỗn hợp bị nén lại, khi đó xuất hiện vận tốc của hỗn hợp, và quá trình nén hỗn hợp sẽ lan truyền tới cuối đường ống. Do cuối đường ống có van đóng, nên hỗn hợp lại dừng lại, tại đây áp suất được tăng cao và lại được lan truyền ngược lại trong ống. Khi đó khối nước sẽ có xu hướng và chuyển động với vận tốc ngược lại. Dưới đây là một số kết quả nghiên cứu của các profil biểu diễn vận tốc của hỗn hợp nhận được trong các hỗn hợp lỏng - hơi của nước, dầu thô, nitơ lỏng và freon-21.

Với mô hình vật lý đặt ra, khi hỗn hợp là nước sôi chứa bọt hơi được chứa trong ống, trong hình 3 là các profil biểu diễn vận tốc nhận được khi có sóng áp suất lan truyền trong hỗn hợp. Trong trường hợp này các điều

kiện đầu và các điều kiện biên được cho như sau: cường độ áp suất tác động ban đầu của hỗn hợp $p_e = 0.16$ MPa; áp suất ban đầu trong hỗn hợp $p_0 = 0.1$ MPa; phần thể tích của pha hơi $\alpha_{20} = 5\%$; bán kính bọt $R = 1.2$ mm; nhiệt độ của hỗn hợp $T_0 = 373^0\text{K}$; độ dài của ống $L = 0.6$ m. Từ các kết quả thu nhận được trên hình 3 có thể thấy giá trị của vận tốc hỗn hợp thu được là nhỏ, lớn nhất chỉ vào 0.188 m/s, chủ yếu là do quá trình nén hỗn hợp. Các profil vận tốc của hỗn hợp trước khi tới tường cứng có cấu trúc đơn điệu, nhưng sau đó đã xuất hiện cấu trúc dao động.



Hình 3. Các đường cong liên tục từ 1 - 12 là các profil biểu diễn vận tốc trong hỗn hợp của nước sôi chứa bọt hơi tương ứng với các khoảng thời gian: $t = 0.5; 1; 2; 4; 7; 10; 13; 16; 16.35; 16.44; 16.65$ và 16.68 ms.

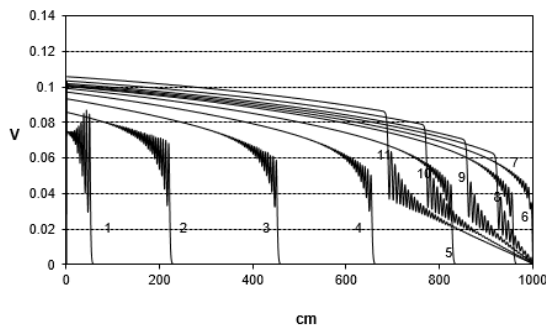


Hình 4. Các đường cong liên tục từ 1 - 13 là các profil biểu diễn vận tốc trong hỗn hợp của dầu thô chứa bọt hơi tương ứng với các khoảng thời gian: $t = 0.5; 1; 3; 5.5; 7.9; 10.8; 12.9; 14.7; 15.1; 15.3; 15.4; 15.47$ và 15.52 ms.

Trên hình 4 là các profil biểu diễn vận tốc nhận được trong hỗn hợp của dầu thô chứa bọt hơi khi có sóng áp suất lan truyền trong hỗn hợp. Trong trường hợp này các điều kiện đầu và các điều kiện biên được cho như sau: cường độ áp suất tác động ban đầu của hỗn hợp $p_e = 0.16$ MPa; áp suất ban đầu trong hỗn

hợp $p_0 = 0.1$ MPa; phần thể tích của pha hơi $\alpha_{20} = 5\%$; bán kính bọt $R = 1.2$ mm; nhiệt độ của hỗn hợp $T_0 = 273^0\text{K}$; độ dài của ống $L = 0.6$ m. Từ các kết quả thu nhận được trên hình 4 có thể thấy giá trị của vận tốc hỗn hợp thu được là nhỏ, lớn nhất chỉ vào 0.177m/s , chủ yếu là do quá trình nén hỗn hợp.

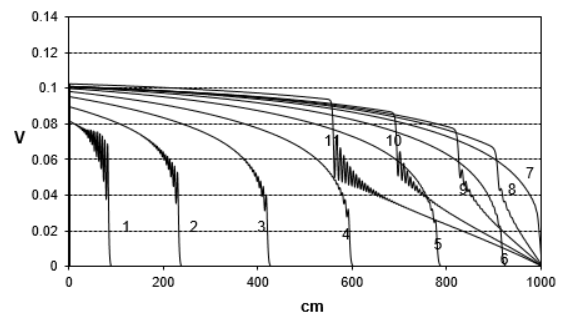
Trên hình 5 là các profil biểu diễn vận tốc nhận được trong hỗn hợp của ni tơ lỏng chứa bọt hơi khi có sóng áp suất lan truyền trong hỗn hợp. Trong trường hợp này các điều kiện đầu và các điều kiện biên được cho là: cường độ áp suất tác động ban đầu của hỗn hợp $p_e = 0.2$ MPa; áp suất ban đầu trong hỗn hợp $p_0 = 0.1$ MPa; phần thể tích của pha hơi $\alpha_{20} = 1\%$; bán kính bọt $R = 1.5$ mm; nhiệt độ của hỗn hợp $T_0 = 77.35^0\text{K}$; độ dài của ống $L = 10$ m. Từ các kết quả thu nhận được trên hình 5 có thể thấy giá trị của vận tốc hỗn hợp thu được là nhỏ, giá trị lớn nhất chỉ vào khoảng 0.099 m/s. Các profil vận tốc của hỗn hợp trước khi tới tường cứng có cấu trúc dao động và sau đó cũng có cấu trúc dao động khi hỗn hợp trong trạng thái chuyển động ngược lại.



Hình 5. Các đường cong liên tục từ 1 - 11 là các profil biểu diễn vận tốc trong hỗn hợp của ni tơ lỏng chứa bọt hơi tương ứng với các khoảng thời gian: $t = 3; 13.9; 29.2; 43.1; 55.2; 64.7; 69.6; 73.7; 76.4; 80.9$ và 84.4 ms.

Trên hình 6 là các profil biểu diễn vận tốc nhận được trong hỗn hợp của freon 21 chứa bọt hơi khi có sóng áp suất lan truyền trong hỗn hợp. Trong trường hợp này các điều kiện đầu và các điều kiện biên được cho như sau: cường độ áp suất tác động ban đầu của hỗn hợp $p_e = 0.37$ MPa; áp suất ban đầu trong hỗn hợp $p_0 = 0.185$ MPa; phần thể tích của pha

hơi $\alpha_{20} = 1\%$; bán kính bọt $R = 1.5$ mm; nhiệt độ của hỗn hợp $T_0 = 299^0\text{K}$; độ dài của ống $L = 10$ m. Từ các kết quả thu nhận được trên hình 6 có thể thấy giá trị của vận tốc hỗn hợp thu được là nhỏ, lớn nhất chỉ vào 0.098 m/s. Cũng như trường hợp trên khi hỗn hợp là ni tơ lỏng, các profil vận tốc của hỗn hợp trước khi tới tường cứng có cấu trúc dao động và sau đó cũng có cấu trúc dao động.



Hình 6. Các đường cong liên tục từ 1 - 11 là các profil biểu diễn vận tốc trong hỗn hợp của freon 21 chứa bọt hơi tương ứng với các khoảng thời gian: $t = 5; 15; 28.4; 41.2; 55.4; 66.2; 73.5; 77.3; 82.9; 85$ và 85.48 ms

Như vậy, các kết quả nhận được trên các hình từ 3-6 là các profil biểu diễn vận tốc của hỗn hợp trong các hỗn hợp lỏng - hơi: nước, dầu thô, ni tơ lỏng và freon-21. Các kết quả đã cho thấy, vận tốc của hỗn hợp nhận được là nhỏ. Vận tốc này nhận được do sự nén của hỗn hợp, phụ thuộc vào nồng độ thể tích của pha hơi và tính chất vật lý nhiệt của hỗn hợp.

KẾT LUẬN

Trong bài báo đã trình bày các kết quả nghiên cứu về sự ảnh hưởng của quá trình lan truyền của sóng áp suất trong một số hỗn hợp lỏng – hơi như : nước, dầu thô, ni tơ lỏng và freon-21 tới vận tốc hỗn hợp. Trên cơ sở các kết quả nhận được có thể đưa ra một số kết luận như sau:

Khi sóng áp suất lan truyền trong hỗn hợp lỏng – hơi, cường độ của áp suất phản xạ lớn hơn nhiều so với cường độ áp suất tác dụng ban đầu (gấp hơn 10 lần đối với hỗn hợp của nước). Đồng thời bọt bị co nén mạnh, có thời điểm bán kính bọt bị nén lại chỉ còn 1/5 lần bán kính ban đầu.

Vận tốc hỗn hợp nhận được khi có sóng áp suất lan truyền là nhỏ, chủ yếu là do quá trình nén hỗn hợp; giá trị vận tốc phụ thuộc vào nồng độ thể tích pha hơi, vào tính chất vật lý nhiệt của hỗn hợp, vào cường độ sóng ban đầu (ví dụ, đối với hỗn hợp của nước khi $p_e = 0.16\text{MPa}$, $\alpha_{20} = 5\%$, $v = 0.188\text{ m/s}$, đối với hỗn hợp của freon 21 khi $p_e = 0.37\text{MPa}$, $\alpha_{20} = 1\%$, $v = 0.098\text{ m/s}$).

Các profil vận tốc của các hỗn hợp trước và sau khi tới van đóng có cấu trúc đơn điệu hay dao động phụ thuộc vào tính chất vật lý nhiệt của hỗn hợp, hay chính là quá trình trao đổi nhiệt và khối lượng giữa các pha trong hỗn hợp. Có thể thấy quá trình trao đổi nhiệt và khối lượng của hỗn hợp của nước và dầu thô mạnh hơn so với hỗn hợp của ni tơ lỏng và freon 21.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyen Van Tuan, Duong Ngoc Hai, (2016), "Water Hammer Phenomena in Mixture of Liquid with Vapour Bubbles", The 8th Asia-Pacific Workshop on Marine Hydrodynamics, September 20-23, pp. 319-323, Hanoi VietNam .
2. Duong Ngoc Hai and Nguyen Van Tuan, (2008), "Interphase Heat-Mass Transfer in Bubbly Liquid and its Influence on Wave Propagation Processes", *Proceedings of the 2nd International Forum on Heat Transfer, September 17-19, 2008*, Tokyo, Japan, paper ID N128.
3. Duong Ngoc Hai and Nguyen Van Tuan, (2009) "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 5 - 6, 2009*, pp. 11 - 18 .
4. Gubaigullin A. A., Beregova O.Sh. & Bekishev S. A. (2001). "Shock waves in non-Newtonian bubbly liquids". *Int.J. Multiphase Flow* Vol. 27, 635-655,.
5. Nguyễn Văn Tuấn và Dương Ngọc Hải, (2006). "Quá trình lan truyền và tương tác sóng của các sóng ngắn trong một số hỗn hợp Lỏng - Hơi", *tuyển tập công trình hội nghị khoa học Cơ học Thủy Khí toàn quốc, tr. 515-526, Vũng tàu*.
6. Duong Ngoc Hai & Nguyen Van Tuan, (2002). "Waves reflected by solid wall in the mixture of liquid with vapour bubbles". *J. Mechanics* Vol. 24, No3. 167-180,.
7. Nigmatulin R.I. (1990), *Dynamics of Multiphase Media*. Hemisphere, publ. Corp., Washington.

ABSTRACT

SOME INVESTIGATION RESULTS OF THE INFLUENCE OF PROPAGATION PROCESS OF PRESURE WAVES IN MIXTURE OF LIQUID - VAPOUR ON THE VELOCITY OF MIXTURES

Nguyễn Văn Tuấn*, Hoàng Diệu Linh, Nguyễn Thị Kim Thoa

Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp - ĐH Thái Nguyên

Mixture Liquid - Vapour is a mixture of liquid with vapour bubbles. This Mixture met in many natural and industrial processes. In this paper, the results of the investigation of the propagation process of pressure waves in the mixture of Liquid with vapour bubbles bring on the change of the bubbles radius and the its influence on velocity of mixtures: water, crude oil, freon 21... are presented.

Key words: Liquid; vapour bubbles; wave; valve closure; phase; presure; mixture.

Ngày nhận bài: 06/6/2018; Ngày phản biện: 17/6/2018; Ngày duyệt đăng: 31/8/2018

* Email: nltuan@tnut.edu.vn