

MỘT SỐ KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VỀ QUÁ TRÌNH LAN TRUYỀN CỦA SÓNG XUNG KÍCH TRONG CÁC MÔI TRƯỜNG HAI PHA

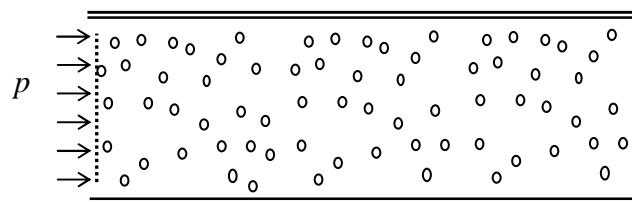
Nguyễn Văn Tuấn - Nguyễn Thị Hoa (*Trường ĐH Kỹ thuật Công nghiệp - ĐH Thái Nguyên*)
Trần Thị Hào (*Trường CĐ Công nghiệp Việt Đức - Thái Nguyên*)

1. Mở đầu

Môi trường hai pha được sử dụng là hỗn hợp chất lỏng chứa bọt hơi. Hỗn hợp dạng này có tính chất đặc biệt, trong hỗn hợp do có sự kết hợp của các tính chất phi tuyến vật lý mạnh, sự tán sắc và quá trình hao tán năng lượng, nên biểu đồ mô tả các sóng có thể có nhiều dạng. Chính vì vậy, khi thay đổi các điều kiện thủy động lực, sẽ dẫn đến sự thay đổi các cấu trúc về sóng và các quá trình tương tác giữa các pha.

Do hỗn hợp có tính chất đặc biệt như trên, đồng thời hỗn hợp lại xuất hiện rất nhiều trong các lĩnh vực công nghiệp năng lượng, công nghệ hoá học, và các quá trình tự nhiên... cho nên, sự hiểu biết về các hiện tượng có thể xuất hiện khi sóng áp suất lan truyền qua chất lỏng chứa bọt, đặc biệt là trong trường hợp cường độ của sóng áp suất tăng đột ngột khi sóng bị phản xạ bởi tường cứng là rất cần thiết. Nó giúp cho sự phân tích các chế độ làm việc quá độ của các thiết bị năng lượng, phân tích tình huống hư hỏng và đảm bảo an toàn khi khai thác của các nhà máy điện nguyên tử, phân tích các hiện tượng xâm thực trong các máy tuốc bin, để ứng dụng trong công nghiệp khai thác, vận chuyển và chế biến dầu khí... Như vậy, sự hiểu biết đúng đắn các hiện tượng có thể xuất hiện khi có sóng áp suất lan truyền qua môi trường chất lỏng - bọt là rất cần thiết để giải quyết hàng loạt các bài toán thực tế. Đã có nhiều công trình khoa học nghiên cứu về các lan truyền của sóng xung kích trong các hỗn hợp này như: Nghiên cứu thực nghiệm về động lực học sóng trong chất lỏng chứa bọt khí hoà tan hay dễ hoà tan của Dontsov & Pokusaev (1998). Nghiên cứu về sóng xung kích trong chất lỏng phi Newton chứa bọt khí của Gubaidulin, Beregova & Bekishev (2001). Nghiên cứu về sự truyền sóng trong chất lỏng chứa bọt hơi của Nigmatulin, Khabeev & Dương Ngọc Hải (1982, 1988); Dương Ngọc Hải & Nguyễn Văn Tuấn (2000, 2002, 2004, 2005, 2006). Sự tăng biên độ của sóng áp suất trong hỗn hợp chất lỏng chứa bọt hơi đã được nghiên cứu bởi Nakoryakov, Vasserman, Pokusaev & Pribaturin (1994)...

Khảo sát hỗn hợp chất lỏng chứa bọt hơi hình cầu tĩnh, được chứa trong ống nằm ngang. Giả sử tồn tại sóng xung kích tác động vào hỗn hợp, sóng này lan truyền trong hỗn hợp từ đầu ống tới cuối đường ống.



Báo cáo này trình bày một số kết quả nghiên cứu về quá trình lan truyền của sóng xung kích trong các hỗn hợp chất lỏng chứa bọt hơi: như hỗn hợp của nước và của freon 21. Sự ảnh hưởng của các tính chất vật lý nhiệt của hỗn hợp, của cường độ ban đầu của sóng xung kích và nồng độ thể tích của pha hơi trong hỗn hợp lên quá trình lan truyền của sóng sẽ được đề cập tới trong báo cáo này.

2. Mô hình toán học

Hỗn hợp chất lỏng chứa bọt hơi có thể xem là một môi trường trong khuôn khổ mô hình của pha lỏng liên tục và pha hơi, với các giả thiết đơn giản hoá hỗn hợp đã được đưa ra trong [9]. Trong hệ tọa độ Lagrange (ξ, t) các phương trình bảo toàn khối lượng, số lượng bọt và xung lượng được viết như sau:

$$\frac{\partial \rho_1}{\partial t} + \frac{\rho_1}{\rho_0} \frac{\partial v}{\partial \xi} = -4\pi R^2 n_j; \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial \rho_2}{\partial t} + \frac{\rho_2}{\rho_0} \frac{\partial v}{\partial \xi} = 4\pi R^2 n_j; \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial n}{\partial t} + \frac{\rho n}{\rho_0} \frac{\partial v}{\partial \xi} = 0; \quad (2.3)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial \xi} = 0; \quad (2.4)$$

$$p = \alpha_1 p_1 + \alpha_2 \left(p_2 - \frac{2\sigma}{R} \right); \quad (2.5)$$

trong đó:

các chỉ số dưới $i = 1, 2, 0$ là các tham số của chất lỏng và hơi và trạng thái cân bằng ban đầu

$\alpha_i, p_i, \rho_i, \rho_0$ là phần thể tích, áp suất, mật độ trung bình và mật độ thực của pha thứ i , v là vận tốc dài, 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 ($j > 0$ khi hoá hơi, $j < 0$ khi ngưng tụ), σ là hệ số sức căng bề mặt, ξ là tọa độ Lagrange và t là thời gian.

Kết hợp với phương trình thay đổi khối lượng của từng bọt, phương trình dòng nhiệt trong pha lỏng, phương trình dòng nhiệt trong pha hơi và phương trình tương thích biến dạng Rayleigh - Plesset biểu diễn áp suất của các pha và bán kính bọt cùng các điều kiện đầu và các điều kiện biên tương ứng được trình bày trong [3][6], hệ phương trình trên lập thành một hệ phương trình thủy nhiệt động lực học kín mô tả quá trình lan truyền các sóng xung kích trong các hỗn hợp lỏng - hơi.

3. Các kết quả và thảo luận

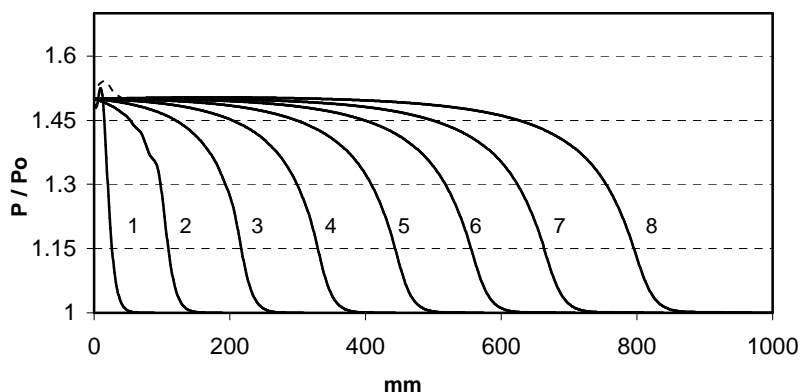
Bài toán trên là bài toán nhiều tham số phức tạp. Để giải hệ phương trình thủy-nhiệt động lực học đã được đóng kín trên, chúng tôi biểu diễn chúng thông qua các đại lượng không thứ nguyên và các tổ hợp không thứ nguyên. Một chương trình tính được xây dựng trên cơ sở sử dụng phương pháp Ole biến đổi và phương pháp khử đuổi thông qua thuật toán Thomas [5], [6]. Từ đó, nghiên cứu ảnh hưởng của các tính chất vật lý nhiệt của hỗn hợp, của nồng độ pha hơi trong hỗn hợp và của cường độ ban đầu của sóng xung kích lên quá trình lan truyền của sóng trong hỗn hợp lỏng - hơi của nước và của freon21.

3.1. Hỗn hợp của nước chứa bọt hơi.

Môi trường nước chứa bọt hơi được sử dụng ở nhiệt độ sôi dưới áp suất thường, $T = 373^{\circ}\text{K}$; $p_0 = 0.1 \text{ Mpa}$. Trong các hình 1 - 4 là các profile biểu diễn quá trình lan truyền của sóng

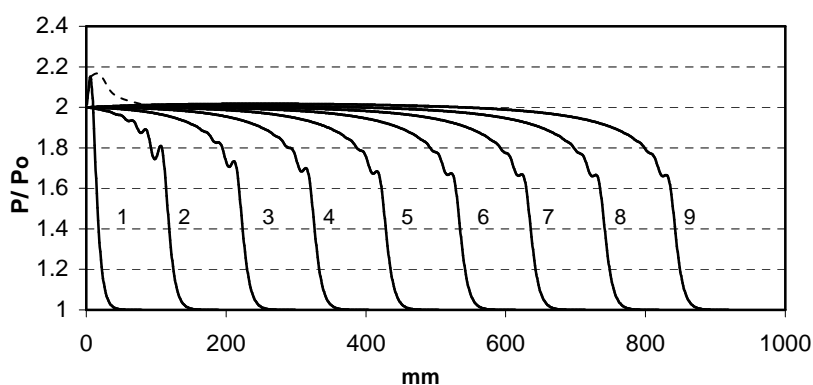
áp suất trong hỗn hợp. Trên các biểu đồ minh họa, trục thẳng đứng là giá trị của áp suất trong hỗn hợp, còn trục nằm ngang biểu thị tọa độ không gian.

Hình 1 là biểu đồ biểu diễn quá trình lan truyền sóng xung kích trong hỗn hợp khi cường độ sóng và các tham số vật chất của môi trường được cho như sau: $p_e = 0.15 \text{ MPa}$, $R_0 = 1 \text{ mm}$, $\alpha_{20} = 1\%$. Các đường cong 1 – 8 là các profile áp suất tương ứng với các khoảng thời gian $t = 0.2; 1.2; 2.5; 4; 6; 7.5; 9; \text{ và } 10.2 \text{ ms}$. Có thể thấy trong trường hợp này các profile áp suất trong hỗn hợp có cấu trúc đơn điệu.



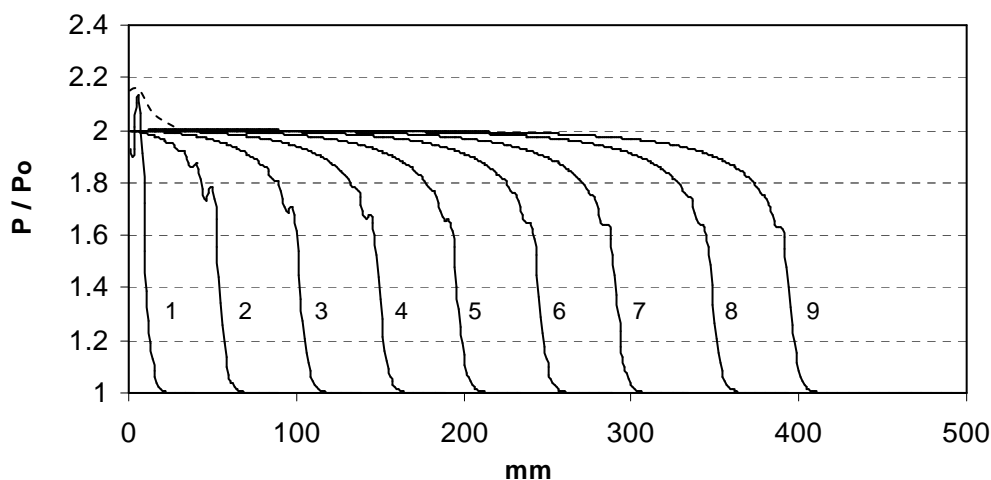
Hình 1. Quá trình lan truyền sóng xung kích trong hỗn hợp lỏng hơi của nước sôi
khi: $p_e = 0.15 \text{ MPa}$; $R_0 = 1 \text{ mm}$; $\alpha_{20} = 1\%$.

Trong hình 2 là biểu đồ biểu diễn quá trình lan truyền của sóng xung kích trong hỗn hợp nước sôi chứa bọt hơi khi ta tăng cường độ ban đầu sóng $p_e = 0.2 \text{ MPa}$, còn các tham số vật chất khác được giữ nguyên như trên. Các đường cong 1 – 9 là các profile áp suất tương ứng với các khoảng thời gian $t = 0.1; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7 \text{ và } 8 \text{ ms}$. Có thể thấy các profile áp suất trong hỗn hợp đã xuất hiện cấu trúc dao động.

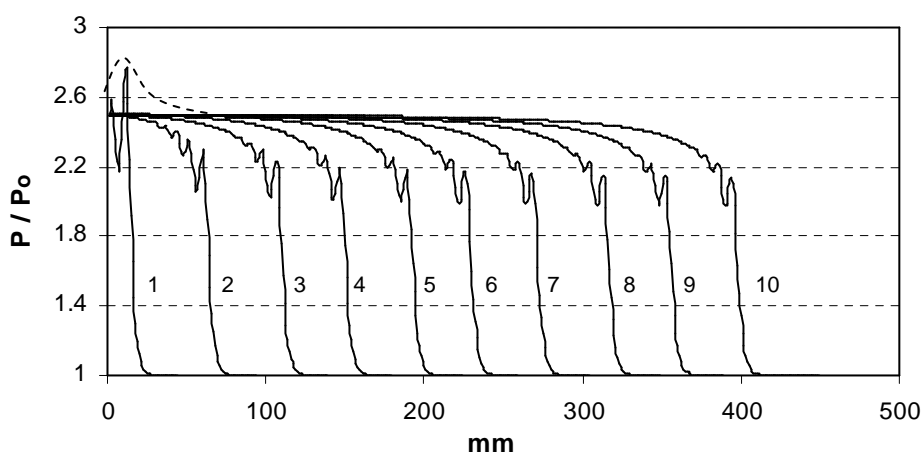


Hình 2. Quá trình lan truyền sóng xung kích trong hỗn hợp lỏng hơi của nước sôi
khi: $p_e = 0.2 \text{ MPa}$; $R_0 = 1 \text{ mm}$; $\alpha_{20} = 1\%$.

Hình 3 là biểu đồ biểu diễn quá trình lan truyền sóng xung kích trong hỗn hợp khi các tham số vật chất khác được giữ nguyên như trường hợp 2, nhưng nồng độ thể tích trong hỗn hợp được tăng lên $\alpha_{20} = 5\%$. Các đường cong 1 – 9 là các profile áp suất tương ứng với các khoảng thời gian $t = 0.1; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7.2 \text{ và } 8.2 \text{ ms}$. Từ các kết quả biểu diễn trên hình, có thể thấy khi tăng nồng độ thể tích pha hơi trong hỗn hợp thì tốc độ lan truyền của sóng giảm.



Hình 3. Quá trình lan truyền sóng xung kích trong hỗn hợp lỏng hơi của nước sôi khi: $p_e = 0.2 \text{ MPa}$; $R_0 = 1 \text{ mm}$; $\alpha_{20} = 5\%$.



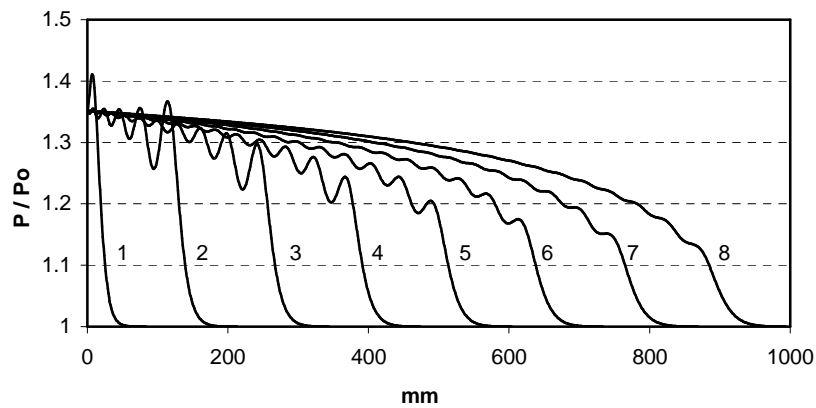
Hình 4. Quá trình lan truyền sóng xung kích trong hỗn hợp lỏng hơi của nước sôi khi: $p_e = 0.25 \text{ MPa}$; $R_0 = 1 \text{ mm}$; $\alpha_{20} = 5\%$.

Hình 4 là biểu đồ biểu diễn quá trình lan truyền của sóng xung kích trong hỗn hợp nước sôi chứa bọt hơi khi các tham số vật chất khác được giữ nguyên như trường hợp 3, nhưng cường độ ban đầu của sóng tác động vào hỗn hợp tiếp tục tăng $p_e = 0.25 \text{ MPa}$. Các đường cong 1 – 10 biểu diễn các profile áp suất tương ứng với các khoảng thời gian $t = 0.2; 1; 1.8; 2.5; 3.2; 4.6; 5.4; 6.1$ và 6.8 ms . Từ các kết quả biểu diễn trên hình, có thể thấy khi tăng cường độ áp suất ban đầu tác động vào hỗn hợp thì sóng có cấu trúc dao động và tốc độ sóng tăng.

Như vậy, từ các kết quả nghiên cứu trong các trường hợp trên, có thể nhận thấy trong giai đoạn đầu tiên khi sóng xung kích tác động vào hỗn hợp thì áp suất trong hỗn hợp đều tăng so với cường độ ban đầu của sóng. Đó là hiện tượng khuếch đại của sóng xung kích khi tác động vào hỗn hợp lỏng – hơi. Đồng thời trong các kết quả nhận được có thể thấy khi tăng cường độ sóng xung kích thì tốc độ lan truyền của sóng tăng, sóng có cấu trúc đơn điệu dần sang cấu trúc dao động. Nồng độ thể tích của pha hơi trong hỗn hợp tăng thì tốc độ lan truyền của sóng giảm.

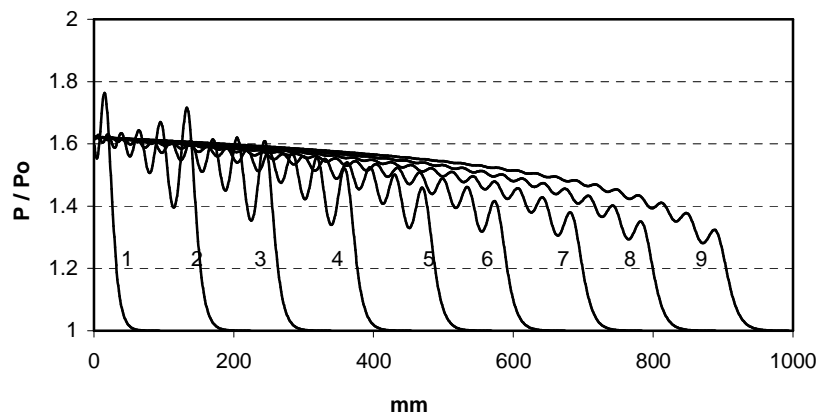
3.2. Hỗn hợp của Freon21 chứa bọt hơi.

Môi trường của freon21 chứa bọt hơi được sử dụng ở nhiệt độ $T = 293^{\circ}\text{K}$; dưới áp suất $p_0 = 0.185 \text{ Mpa}$. Trong các hình 5 – 8 là các profile biểu diễn quá trình lan truyền của sóng áp suất trong hỗn hợp. Trên các biểu đồ minh họa, trục thẳng đứng là giá trị của áp suất trong hỗn hợp, còn trục nằm ngang biểu thị tọa độ không gian.



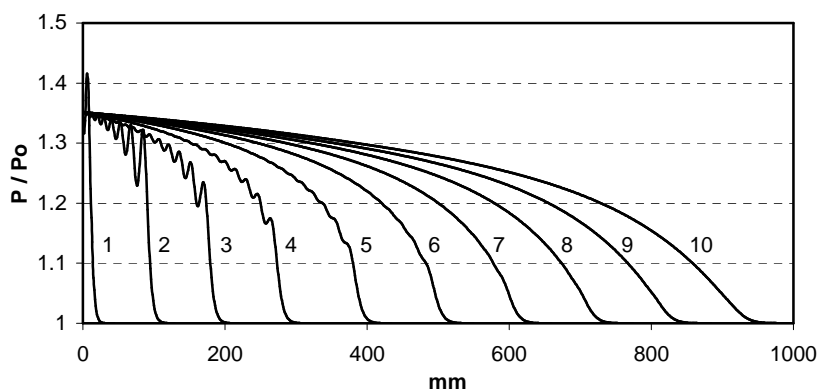
Hình 5. Quá trình lan truyền sóng xung kích trong hỗn hợp lỏng hơi của freon21 khi: $p_e = 0.25 \text{ MPa}$; $R_0 = 1 \text{ mm}$; $\alpha_{20} = 1\%$.

Các kết quả trong hình 5 là biểu đồ biểu diễn quá trình lan truyền sóng xung kích trong hỗn hợp freon21 chứa bọt hơi khi cường độ sóng và các tham số vật chất của môi trường được cho như sau: $p_e = 0.25 \text{ MPa}$, $R_0 = 1 \text{ mm}$, $\alpha_{20} = 1\%$. Các đường cong 1 – 8 biểu diễn các profile áp suất tương ứng với các khoảng thời gian $t = 0.2; 1; 2; 3; 4; 5; 6.1$ và 7.1 ms . Có thể thấy trong trường hợp này các profile áp suất trong hỗn hợp đều có cấu trúc dao động.



Hình 6. Quá trình lan truyền sóng xung kích trong hỗn hợp lỏng hơi của freon21 khi: $p_e = 0.3 \text{ MPa}$; $R_0 = 1 \text{ mm}$; $\alpha_{20} = 1\%$.

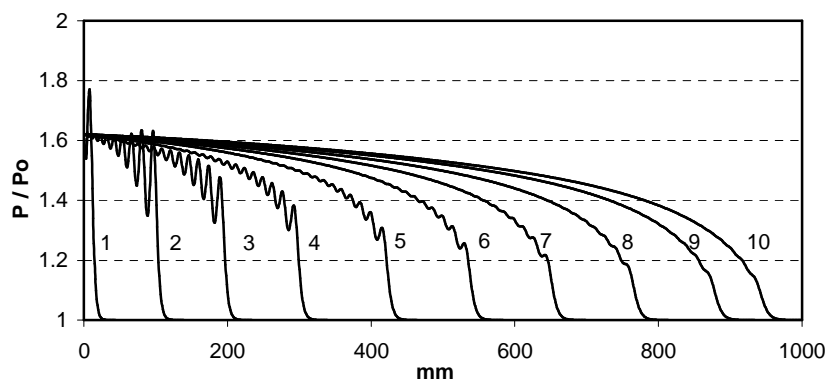
Hình 6 là kết quả biểu diễn của profile áp suất trong hỗn hợp khi tăng cường độ ban đầu của sóng $p_e = 0.3 \text{ MPa}$, còn các tham số khác vẫn giữ như trường hợp trên. Các đường cong 1 – 9 là các profile áp suất tương ứng với các khoảng thời gian $t = 0.2; 1; 1.8; 2.6; 3.4; 4.2; 5; 5.8$ và 6.6 ms . Có thể thấy trong trường hợp này tốc độ lan truyền của sóng tăng.



Hình 7. Quá trình lan truyền sóng xung kích trong hỗn hợp lỏng hơi của freon21

khi: $p_e = 0.25 \text{ MPa}$; $R_0 = 1 \text{ mm}$; $\alpha_{20} = 5\%$.

Hình 7 là kết quả của quá trình lan truyền khi tăng nồng độ thể tích pha hơi trong hỗn hợp $\alpha_{20} = 5\%$. Các đường cong 1 – 10 biểu diễn các profile áp suất tương ứng với các khoảng thời gian $t = 0.2; 1.5; 3; 4.7; 6.7; 8.7; 10.7; 12.7; 14.7$ và 16.7 ms . Còn hình 8 là trường hợp giữ nguyên $\alpha_{20} = 5\%$, nhưng $p_e = 0.3 \text{ MPa}$, khi đó các đường cong 1 – 10 biểu diễn các profile áp suất tương ứng với các khoảng thời gian $t = 0.2; 1.5; 3; 4.7; 6.7; 8.7; 10.7; 12.7; 14.7$ và 15.9 ms . Rõ ràng, cả hai trường hợp trên khi tăng nồng độ thể tích pha hơi trong hỗn hợp đã làm vận tốc lan truyền của sóng giảm mạnh. Đã xuất hiện trạng thái dừng của các profile áp suất.




Hình 8. Quá trình lan truyền sóng xung kích trong hỗn hợp lỏng hơi của freon21

khi: $p_e = 0.3 \text{ MPa}$; $R_0 = 1 \text{ mm}$; $\alpha_{20} = 5\%$.

Như vậy, trong quá trình lan truyền của sóng xung kích trong hỗn hợp freon-21 đã có thể thấy trong giai đoạn đầu khi sóng xung kích tác dụng vào hỗn hợp cũng xuất hiện hiện tượng khuếch đại của sóng xung kích. Đồng thời trong các kết quả nhận được có thể thấy khi tăng cường độ sóng xung kích thì tốc độ lan truyền của sóng trong hỗn hợp tăng, thông thường đối với hỗn hợp này sóng đều có cấu trúc dao động. Nồng độ thể tích của pha hơi trong hỗn hợp tăng thì thì tốc độ lan truyền của sóng giảm.

Tốc độ lan truyền của sóng trong hỗn hợp của nước nhỏ hơn nhiều so với hỗn hợp của freon-21. Điều đó có nghĩa là quá trình trao đổi nhiệt - chất giữa các pha trong hỗn hợp của nước xảy ra mạnh hơn so với hỗn hợp của freon-21.

4. Kết luận

- Các kết quả nghiên cứu quá trình lan truyền của sóng xung kích trong hỗn hợp lỏng - hơi như: nước và freon-21 đã có thể chỉ ra rằng:
- Trong giai đoạn đầu, khi sóng xung kích tác động vào hỗn hợp chất lỏng chứa bọt hơi thì đều xuất hiện hiện tượng khuếch đại của sóng xung kích.
 - Cường độ của áp suất lan truyền phụ thuộc mạnh vào phần thể tích của pha hơi trong hỗn hợp, vào cường độ áp suất ban đầu tác động vào hỗn hợp. Khi phần thể tích của pha hơi trong hỗn hợp tăng, thì cường độ của áp suất lan truyền trong hỗn hợp giảm. Khi cường độ áp suất ban đầu tác động vào hỗn hợp tăng thì cường độ của áp suất lan truyền trong hỗn hợp tăng .
 - Khi áp suất sóng xung kích tác động vào hỗn hợp tăng lên thì vận tốc của sóng lan truyền cũng tăng nhưng khi thể tích pha hơi trong hỗn hợp tăng lên thì vận tốc của sóng lan truyền lại giảm .
 - Cấu trúc của sóng đơn điệu hay dao động phụ thuộc vào cường độ ban đầu của sóng và tính chất vật lý nhiệt của hỗn hợp.
 - Quá trình trao đổi nhiệt - chất giữa các pha trong hỗn hợp của nước xảy ra mạnh hơn so với hỗn hợp của freon-21 

Tóm tắt

Bài báo trình bày một số kết quả nghiên cứu của quá trình lan truyền của sóng xung kích trong một số hỗn hợp chất lỏng chứa bọt hơi. Sự ảnh hưởng của cường độ ban đầu của sóng, của nồng độ thể tích của pha hơi và của tính chất vật lý nhiệt của hỗn hợp lên các quá trình này sẽ được đề cập tới trong bài báo này.

Summary

Some investigation results of propagation process of the shock waves in two - phase Media

The paper presents some investigation results of the propagation process of the shock waves in some mixtures of Liquid with vapour bubbles. The influences of initial wave intensity, volume fraction of vapour phase and thermo-physical properties of the phases in the mixture on the propagation processes are presented.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Dontsov V.E., Pokusaev B.G. (1998) "Experimental study of gas solution behind a shock wave in liquid with bubbles of easily soluble gas" . *Proc. of Int. Conf. on Multiphase Flow ICMF- 98* . Lyon, France.
- [2]. Duong Ngoc Hai & Nguyen Van Tuan (2000). "Shock adiabat analysis for the mixture of liquid and gas two components". *J. Mechanics* Vol. 22. No2. 101-110
- [3]. 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,.
- [4]. Dương Ngọc Hải, Nguyễn Văn Tuấn, (2002). "Sóng phản xạ bởi tường cứng và tương tác sóng trong một số hỗn hợp lỏng - hơi". *Tuyển tập Công trình Hội nghị Cơ học toàn quốc lần thứ 7, Hà Nội*, pp. 165 – 176,

[5]. Duong Ngoc Hai and Nguyen Van Tuan, (2004). “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.

[6]. Dương Ngọc Hải và Nguyễn Văn Tuấn, (2005). “ Quá trình truyền sóng trong một số hỗn hợp của dầu thô và nitơ lỏng” . *Tuyển tập hội nghị khoa học Cơ học Thủy khí Toàn quốc lần thứ , Hạ long*.

[7]. 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,.

[8]. Nakoryakov V.E1981. *Hydrodynamics of two phase flows*. In: *Hydrodynamics and Heat Transfer in one-and Two -Phase Media* pp.5-30. Institute of thermal Physics SD Academy of Sciences of the USSR, Novosibirsk..

[9]. Nigmatulin R.I. *Dynamics of Multiphase Media*. Hemisphere, publ. Corp., Washington, 1990.

[10]. Nigmatulin R.I., Khabeev N.S. & Duong Ngoc Hai, (1988). “Waves in liquid with vapour bubbles”. *J.Fluid Mech.*, Vol. 186, 85-117.

* Công trình được hoàn thành nhờ sự hỗ trợ của chương trình nghiên cứu cơ bản trong KHTN. Chúng tôi xin chân thành cảm ơn.