

QUÁ TRÌNH TƯƠNG TÁC GIỮA CÁC SÓNG XUNG KÍCH TRONG HỖN HỢP NƯỚC CHỨA BỌT HƠI

Nguyễn Văn Tuấn - (Trường Đại học KTCN- ĐH Thái Nguyên)
Nguyễn Thế Đức (Viện Cơ học - Hà Nội)

1. Mở đầu

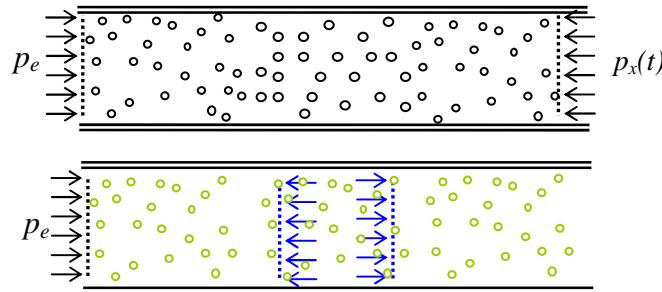
Khi nghiên cứu về hỗn hợp chất lỏng chứa bọt hơi, đã có thể thấy hỗn hợp dạng này có tính chất đặc biệt, trong hỗn hợp do có sự kết hợp của các tính chất phi tuyến vật lý mạnh, phân tán và hao tán năng lượng. Cho nên khi thay đổi các điều kiện thuỷ động lực, sẽ dẫn đến sự thay đổi các cấu trúc về sóng và xuất hiện 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 xung kích lan truyền qua chất lỏng chứa bọt hơi là rất cần thiết, để giải quyết hàng loạt các bài toán thực tế. Như để 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...

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 [1]. Nghiên cứu về sóng xung kích trong chất lỏng phi Newton chứa bọt khí của Gubaidulin, Beregovaya & Bekishev [5]. Nghiên cứu về sự truyền sóng trong chất lỏng chứa bọt hơi của Nigmatulin, Khabeev & Dương Ngọc Hải [8]; Dương Ngọc Hải & Nguyễn Văn Tuấn [2, 3, 4]. 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 [6]...

Báo cáo này trình bày một số kết quả nghiên cứu về sự ứng xử của áp suất trong quá trình tương tác giữa sóng dài và sóng ngắn trong hỗn hợp nước sôi chứa bọt hơi. Sự ảnh hưởng của cường độ ban đầu của sóng, của nồng độ thể tích của pha hơi và các tính chất vật lý nhiệt của các pha trong hỗn hợp lên quá trình tương tác sóng sẽ được đề cập đến trong báo cáo này.

2. Mô hình toán học

Xét hỗn hợp Lỏng – Hơi được chứa đầy trong ống nằm ngang, có độ dài là L . Tại hai đầu của ống chứa hỗn hợp tồn tại hai sóng lan truyền vào, gắp nhau, tương tác và từ đó lan truyền ngược nhau ra đầu ống.



Với mô hình này, hỗn hợp Lỏng - Hơi có cấu trúc bọt 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 hóa hỗn hợp đã được đưa ra như trong [2], [7]. Trong hệ toạ độ Lagrange (ξ, t) các phương trình bảo toàn khối lượng, số lượng bọt và xung lượng được viết như sau:

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

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

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

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

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

trong đó các chỉ số dưới $i=1, 2$ là các tham số của chất lỏng và hơi, chỉ số 0 chỉ các tham số của trạng thái cân bằng ban đầu, $\alpha_i, p_i, \rho_i, \rho_i^0$ 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 toạ độ Lagrange, 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 [2], lập thành một hệ phương trình thủy nhiệt động lực học kín có thể mô tả quá trình tương tác giữa các sóng xung kích (có tính đến quá trình trao đổi nhiệt chất giữa các pha trong hỗn hợp) trong các hỗn hợp lỏng - hơi. Quá trình này được tính toán trên cơ sở sử dụng các điều kiện đầu và các điều kiện biên sau:

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

$$v = 0; w_{1\sigma} = w_{2\sigma} = 0; \rho = \rho_0 \quad (2.6)$$

$$\xi = 0: p = p_e \quad \xi = L: p = p_x(t) \quad (2.7)$$

trong đó: - p_e là cường độ của sóng dài ban đầu.

- Xung áp suất $p_x(t)$ được mô hình hoá bằng cách cho các quy luật khác nhau của sự thay đổi nhanh áp suất, tương ứng với nó là sự tăng tuyến tính và giảm tuyến tính trong vùng giảm tải

$$p_b(t) = \begin{cases} p_0(1 + b_1 t) & t < t_1; \\ p_0(1 + b_1 t_1) - b_2(t - t_2) & t_1 \leq t \leq t_2; \\ p_0 & t_2 < t. \end{cases} \quad (2.8)$$

các hằng số t_1 và t_2 được xác định bằng độ dài của xung áp suất ban đầu; các hệ số không âm b_1 và b_2 là cường độ của xung.

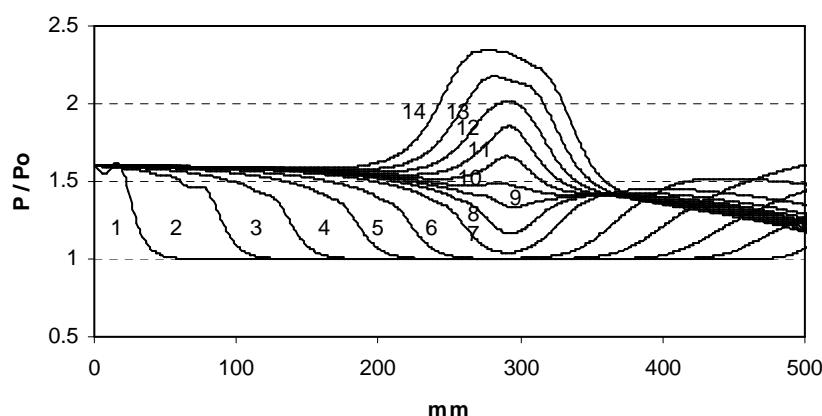
3. Các kết quả và thảo luận

Bài toán trên là bài toán nhiều tham số phức tạp. Để thuận lợi cho việc giải hệ phương trình thủy-nhiệt động lực học đã được đóng kín trên, có thể biểu diễn chúng thông qua các đại lượng không thứ nguyên và các tổ hợp không thứ nguyên. Từ đó, một chương trình tính được xây dựng trên cơ sở sử dụng phương pháp Ole biến đổi và phương pháp khử đuôi thông qua thuật toán Thomas [2], [4]. Chương trình đã được kiểm chứng bằng cách so sánh các kết quả nhận được với một số kết quả thực nghiệm đã được công bố đối với sóng tới của các tác giả khác [3, 7]. Sử dụng các kết quả của chương trình để 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 lên quá trình tương tác giữa các sóng trong hỗn hợp nước sôi chứa bọt hơi.

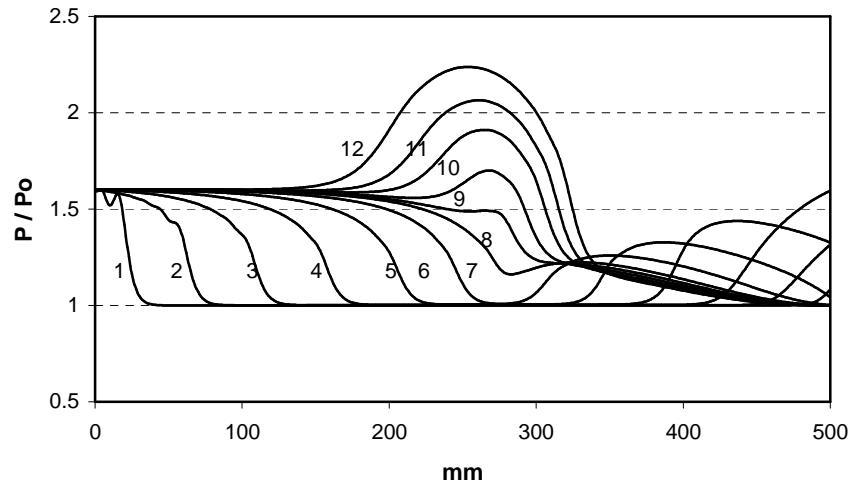
Trong các trường hợp p dưới đây, hỗn hợp đều được chứa trong ống có độ dài $L = 0.5 m$, nhiệt độ của hỗn hợp $T = 373^{\circ}K$, áp suất ban đầu của hỗn hợp $p_0 = 0.1 MPa$.

Các kết quả trên các hình 1, 2 và 3 biểu diễn quá trình tương tác giữa sóng dài và sóng ngắn, khi phần thể tích của pha hơi trong hỗn hợp nhận các giá trị $\alpha_{20} = 1; 3$ và 5% tương ứng. Trong các trường hợp này, sóng dài có cường độ $p_e = 0.16 MPa$ và sóng ngắn (xung áp suất) có cường độ $\Delta P_{max} = 0.6$ (trong đó $\Delta P_{max} = \frac{P_{max} - p_0}{p_0}$) với khoảng thời gian tác dụng của xung áp suất $t_0 = t_1 = t_2 = 1 ms$, bán kính bọt trong hỗn hợp $R_0 = 1 mm$.

Các kết quả biểu diễn trên hình 1 là trường hợp hỗn hợp có phần thể tích pha hơi $\alpha_{20} = 1\%$. Các đường cong từ 1-14 là các profil áp suất tương ứng với các khoảng thời gian: $t = 0.29; 0.93; 1.47; 2.01; 2.45; 2.89; 3.08; 3.18; 3.23; 3.28; 3.33; 3.38; 3.43$ và $3.47 ms$. Từ các kết quả nhận được và biểu diễn trên hình có thể thấy áp suất từ hai đầu của ống lan truyền vào và tương tác nhau, tại vùng tương tác, áp suất trong hỗn hợp được tăng cao, có thời điểm áp suất cực đại trong hỗn hợp nhận được vào khoảng $0.234 MPa$.

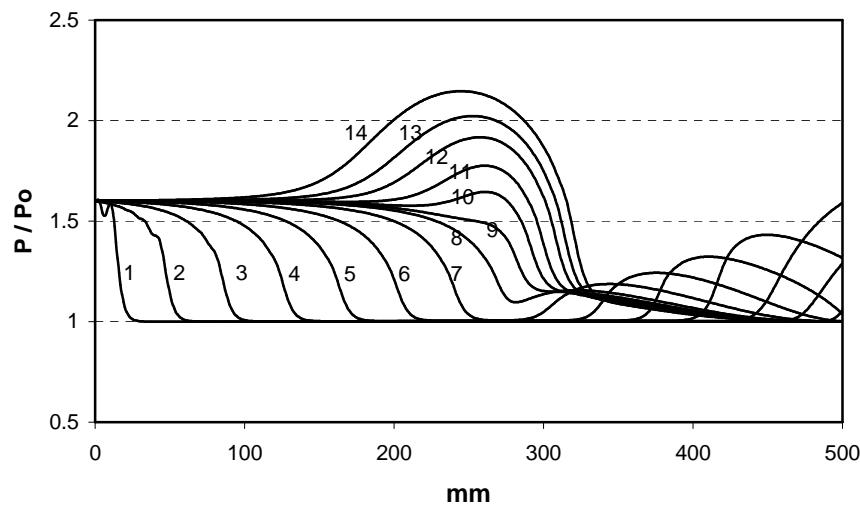


Hình 1: Quá trình tương tác sóng dài có cường độ $p_e = 0.16 MPa$ và sóng ngắn có cường độ $\Delta P_{max} = 0.6$ trong hỗn hợp có thể tích pha hơi $\alpha_{20} = 1\%$.



Hình 2: Quá trình tương tác sóng giữa sóng dài có cường độ $p_e = 0.16 \text{ MPa}$ và sóng ngắn có cường độ $\Delta P_{\max} = 0.6$ trong hỗn hợp có thể tích pha hơi $\alpha_{20} = 3\%$.

Từ các kết quả nhận được trên hình 2, khi hỗn hợp có phần thể tích pha hơi $\alpha_{20} = 3\%$, các đường cong từ 1-12 là các profil áp suất tương ứng với các khoảng thời gian: $t = 0.39; 1.13; 2.01; 2.89; 3.96; 4.8; 5.33; 5.53; 5.68; 5.82; 5.92$ và 6.02 ms . Có thể thấy tại vùng tương tác, áp suất trong hỗn hợp được tăng cao, có thời điểm áp suất cực đại nhận được vào khoảng 0.224 MPa .



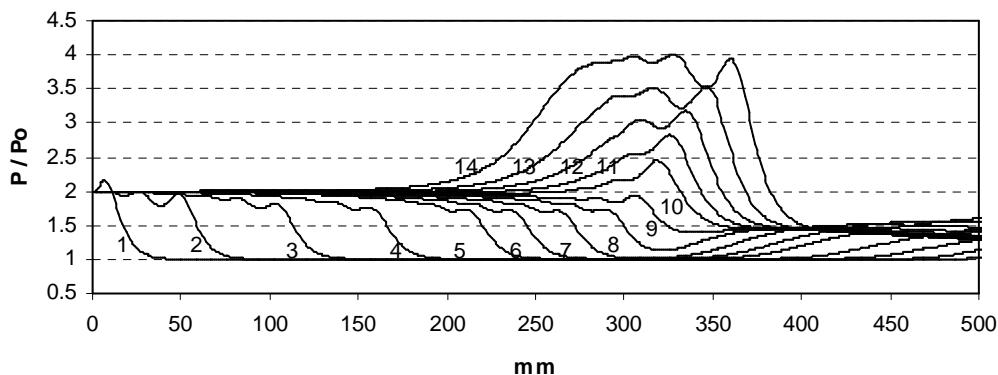
Hình 3. Quá trình tương tác sóng giữa sóng dài có cường độ $p_e = 0.16 \text{ MPa}$ và sóng ngắn có cường độ $\Delta P_{\max} = 0.6$ trong hỗn hợp có thể tích pha hơi $\alpha_{20} = 5\%$.

Các kết quả biểu diễn trên hình 3 là trường hợp hỗn hợp có phần thể tích pha hơi $\alpha_{20} = 5\%$. Các đường cong từ 1-14 là các profil áp suất tương ứng với các khoảng thời gian: $t = 0.34; 1.08; 2.01; 3.03; 4.01; 5.04; 6.07; 6.85; 7.14; 7.49; 7.63; 7.73; 7.83$ và 7.88 ms . Từ các kết quả nhận được, có thể thấy tại vùng tương tác, áp suất trong hỗn hợp được tăng cao, có thời điểm áp suất cực đại nhận được vào khoảng 0.214 MPa .

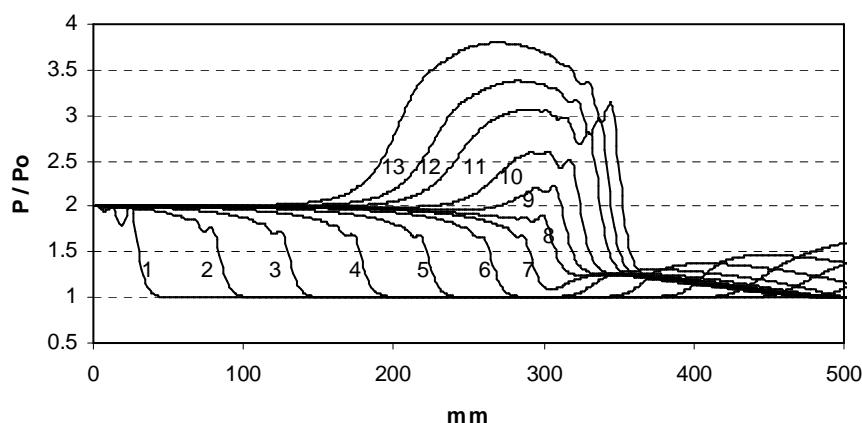
Từ các kết quả nhận được trên đây, có thể thấy khi tăng phần thể tích của pha hơi trong hỗn hợp thì giá trị cực đại của áp suất trong hỗn hợp giảm (khi thể tích của pha hơi $\alpha_{20} = 1, 3$ và 5% thì áp suất cực đại trong hỗn hợp nhận được tương ứng là 0.234 , 0.224 và 0.214 MPa tương ứng). Đồng thời, thời gian nhận được giá trị cực đại của áp suất trong hỗn hợp tăng lên.

Các kết quả trên các hình 4, 5 và 6 biểu diễn quá trình tương tác giữa sóng dài và sóng ngắn khi phần thể tích của pha hơi trong hỗn hợp nhận các giá trị $\alpha_{20} = 1; 3$ và 5% tương ứng. Trong các trường hợp này, các điều kiện ban đầu, các điều kiện biên và các tham số vật chất của hỗn hợp được giữ nguyên như các trường hợp trên, nhưng thay đổi cường độ của sóng dài, trong trường hợp này $p_e = 0.2$ MPa .

Trên hình 4, các đường cong từ 1-14 là các profil áp suất tương ứng với các khoảng thời gian: $t = 0.16; 0.51; 1.0; 1.49; 2.0; 2.23; 2.49; 2.74; 2.88; 2.96; 3.0; 3.03; 3.07$ và 3.11 ms. Từ các kết quả nhận được có thể thấy tại vùng tương tác, áp suất trong hỗn hợp được tăng cao, có thời điểm áp suất cực đại nhận được vào khoảng 0.398 MPa. Đồng thời, có thể thấy, khi tăng cường độ của áp suất tác động vào hỗn hợp, thì cấu trúc của sóng đã xuất hiện dao động.



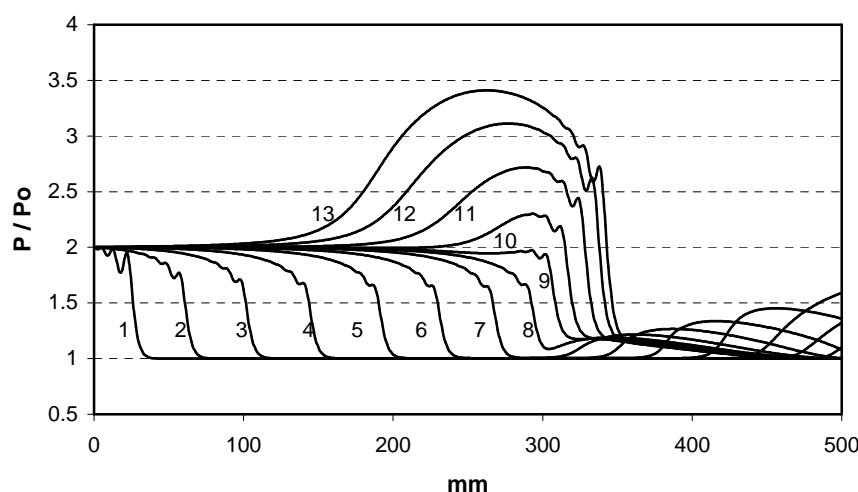
Hình 4: Quá trình tương tác sóng giữa sóng dài có cường độ $p_e = 0.2$ MPa và sóng ngắn có cường độ $\Delta P_{\max} = 0.6$ trong hỗn hợp có thể tích pha hơi $\alpha_{20} = 1\%$.



Hình 5: Quá trình tương tác sóng giữa sóng dài có cường độ $p_e = 0.2$ MPa và sóng ngắn có cường độ $\Delta P_{\max} = 0.6$ trong hỗn hợp có thể tích pha hơi $\alpha_{20} = 3\%$.

Trên hình 5, các đường cong từ 1-13 là các profil áp suất tương ứng với các khoảng thời gian: $t = 0.44; 1.27; 2.01; 2.79; 3.52; 4.21; 4.65; 4.84; 4.94; 4.99; 5.04; 5.14$ và 5.19 ms. Các kết quả biểu diễn trên hình 5 là trường hợp hỗn hợp có phần thể tích pha hơi $\alpha_{20} = 3\%$. Từ các kết quả nhận được có thể thấy tại vùng tương tác, có thời điểm áp suất cực đại nhận được vào khoảng 0.379 MPa.

Trên hình 6, các đường cong từ 1-13 là các profil áp suất tương ứng với các khoảng thời gian: $t = 0.49; 1.17; 2.01; 2.89; 3.87; 4.47; 6.02; 6.26; 6.41; 6.56; 6.65; 6.7$ và 6.75 ms. Trong trường hợp này, hỗn hợp có phần thể tích pha hơi $\alpha_{20} = 5\%$. Từ các kết quả nhận được có thể thấy tại vùng tương tác, áp suất trong hỗn hợp được tăng cao, có thời điểm áp suất cực đại nhận được vào khoảng 0.341 MPa.



Hình 6. Quá trình tương tác sóng giữa sóng dài có cường độ $p_e = 0.2$ MPa và sóng ngắn có cường độ $\Delta P_{max} = 0.6$ trong hỗn hợp có thể tích pha hơi $\alpha_{20} = 5\%$.

Từ các kết quả nhận được biểu diễn trên các hình từ 1 - 6, có thể thấy khi tăng phần thể tích của pha hơi trong hỗn hợp thì giá trị cực đại của áp suất trong hỗn hợp trong quá trình tương tác giảm. Điều này có thể lý giải, khi phần thể tích của pha hơi trong hỗn hợp càng tăng thì sự giảm cường độ của sóng áp suất truyền trong hỗn hợp càng lớn. Do đó, khi tăng phần thể tích của pha hơi trong hỗn hợp thì giá trị của áp suất cực đại nhận được trong quá trình tương tác sóng giảm. Đồng thời, thời gian nhận được giá trị cực đại của áp suất trong hỗn hợp tăng lên, do vận tốc truyền sóng trong hỗn hợp giảm. Hiện tượng này xảy ra là do khi sóng áp suất, đặc biệt xung áp suất truyền trong hỗn hợp cường độ sóng của nó đã bị giảm, nguyên nhân quan trọng dẫn tới tình trạng này là do ảnh hưởng của quá trình trao đổi nhiệt - chất giữa các pha trong hỗn hợp.

4. Kết luận.

Từ mô hình mô tả quá trình lan truyền của sóng xung kích trong hỗn hợp lỏng - hơi, một thuật toán và chương trình tính đã được thành lập và xây dựng. Chương trình tính đã được kiểm chứng bằng cách so sánh kết quả tính toán với một số kết quả thực nghiệm đã được công bố cho sóng tới của các tác giả khác. Chương trình này đã được sử dụng để nghiên cứu quá trình lan truyền và tương tác của sóng dài và sóng ngắn trong hỗn hợp nước sôi chứa bọt hơi. Trên cơ sở các kết quả nhận được có thể đưa ra một số kết luận như sau:

Trong quá trình tương tác sóng, ngoài tính chất vật lý nhiệt của hỗn hợp, thì giá trị của áp suất cực đại thu nhận được phụ thuộc vào cường độ ban đầu của sóng và nồng độ thể tích của pha hơi trong hỗn hợp.

- Khi cường độ ban đầu của sóng tăng, thì giá trị cực đại của áp suất khi xảy ra tương tác tăng.
- Khi nồng độ thể tích của pha hơi tăng thì giá trị cực đại của áp suất khi xảy ra tương tác giảm.

Cấu trúc của hỗn hợp ảnh hưởng mạnh tới tốc độ lan truyền của sóng, khi nồng độ thể tích của pha hơi trong hỗn hợp tăng, thì vận tốc lan truyền của sóng trong hỗn hợp giảm.

Nguyên nhân chủ yếu ảnh hưởng động lực học sóng trong môi trường chính là do xảy ra quá trình trao đổi nhiệt và trao đổi khối lượng giữa các pha trong hỗn hợp.

Tóm tắt

Trong báo cáo này trình bày một số kết quả nghiên cứu về sự ứng xử của áp suất trong quá trình tương tác giữa sóng dài và sóng ngắn trong hỗn hợp của nước sôi chứa bọt hơi. Sự ảnh hưởng của cường độ ban đầu của sóng, của nồng độ thể tích của pha hơi trong hỗn hợp và các tính chất vật lý nhiệt của các pha trong hỗn hợp lên quá trình tương tác sóng sẽ được đề cập đến trong báo cáo này.

Summary

Interaction process of Waves shock in mixture of water with vapour bubble

In this paper we present investigation results of the behaviour of pressure in the interaction process between long wave and short wave in mixture of boil water with vapour bubbles. The influence of initial wave intensity, the volume fraction of vapour phase and thermo physical properties of the phases in the mixture on the interaction process 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, (2002). “Waves reflected by solid wall in the mixture of liquid with vapour bubbles”. *J. Mechanics* Vol. 24, No3. 167-180.,
- [3]. 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,
- [4]. Duong Ngoc Hai and Nguyen Van Tuan, (2004). “Waves reflected by Solid Wall and Interaction in Vapour Bubbly Liquids”. *The 6th International Conference on Nuclear Thermal Hydraulics, Operations and Safety (NUTHOS-6)*, Nara, Japan, Paper ID. N6P016, October 4-8.,
- [5]. Gubaigullin A. A., Beregovaya O.Sh. & Bekishev S. A. (2001). “Shock waves in non-Newtonian bubbly liquids”. *Int.J. Multiphase Flow* Vol. 27, 635-655.,
- [6]. 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..
- [7]. Nigmatulin R.I. *Dynamics of Multiphase Media*. Hemisphere, publ. Corp., Washington, 1990.
- [8]. Nigmatulin R.I., Khabeev N.S. & Duong Ngoc Hai, (1988). “Waves in liquid with vapour bubbles”. *J.Fluid Mech.*, Vol. 186, 85-117.