Tạp chí Cơ học Journal of Mechanics, NCNST of Vietnam T. XIX, 1997, No 3 (19 – 24)

TẢI TRỌNG SÓNG TỐI ƯU CHO CÔNG TRÌNH BIỂN ĐỐI XỨNG TRỤC CÓ ĐƯỜNG SINH DẠNG PARABOL

NGUYỄN TIẾN ĐẠT

Các công trình trên biển như chân đế giàn khoan dầu khí dạng bêtông, bể chứa dầu,... thường có hình dạng tròn xoay đối xứng theo trục thẳng đứng. Vấn đề xác định tải trọng sóng biển (gồm sóng tới và sóng nhiễu xạ) tác động lên các công trình này có ý nghĩa quan trọng trong thiết kế, xây dựng công trình biển có kích cỡ lớn. Việc xác định tải trọng dòng chảy tác dụng lên công trình loại này cũng là một vấn đề song trong tính toán thiết kế (tải trọng sóng được tính toán trong điều kiện sóng bão), tải trọng dòng chảy thường nhỏ hơn nhiều so với tải trọng sóng nên được bỏ qua. Đối với công trình là hình trụ tròn thẳng đứng, tải trọng sóng điều hòa có thể tìm được dưới dạng giải tích bởi MacCamy - Fuchs [3]. Trong [2], các tác giả Kiyokawa và Ohyama đã dùng phương pháp phương trình tích phân biên, một phương pháp tiện lợi để xác định tải trọng sóng điều hòa tác động lên công trình biển dạng đối xứng theo trục thẳng đứng có tiết diện ngang thay đổi tùy ý. Trong [1], tác giả đã xây dựng bộ chương trình tính trên cơ sở thuật toán của [2]. Bộ chương trình này đã được thử nghiệm, so sánh trong nhiều trường hợp và có độ tin cậy cần thiết, có thể xem như là một công cụ nghiên cứu đáng kể.

Trong bài báo này, tác giả sử dụng phần mềm xây dựng được trong [1] để xác định tải trọng sóng tác động lên công trình đối xứng theo trục thẳng đứng có đường sinh là đường cong bậc 2 dạng parabol nói chung nhằm xác định được hình dạng cụ thể của công trình (với điều kiện ràng buộc về sự không đổi của lượng choán nước hoặc diện tích mặt ướt công trình) có tải trọng sóng là cực tiểu.

1. Đặt bài toán

Giả sử sóng điều hòa có biên độ A_0, tần số vòng σ tác động lên công trình cố định đối xứng theo trục thẳng đứng trong nước có độ sâu không đổi H, đường sinh là đường cong bậc 2 dạng parabol có đặc điểm: khoảng cách bé nhất từ đường sinh đến trục đối xứng của công trình là không đổi (ký hiệu là $R_{\min}$).

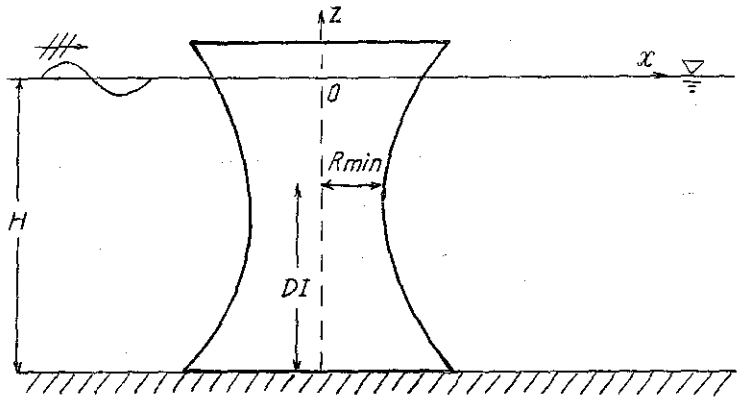
Gọi DI là khoảng cách từ đường tròn có bán kính $R_{\min}$ đến đáy biển $z = -H$, ta có phương trình đường sinh như sau:

$$R = R_{\min} + a(z + H - DI)^2 \tag{1.1}$$

trong đó: a - hệ số được xác định từ điều kiện ràng buộc, R - trục nằm ngang; z - trục thẳng đứng lên trên (hình 1), $R_{\min}$, a, H, DI là các số dương.

Xét hai bài toán sau:

Bài toán 1. Trong số họ đường sinh dạng parabol (1.1) có $R_{\min}$ và lượng choán nước không đổi của công trình biển dạng tròn xoay, đối xứng theo trục thẳng đứng, hãy tìm khoảng cách DI sao cho tải trọng sóng là cực tiểu.



Hình 1. Hệ tọa độ và các ký hiệu cơ bản

Bài toán 2. Trong số họ đường sinh dạng parabol (1.1) có $R_{\min}$ và diện tích mặt ướt không đổi của công trình biển dạng tròn xoay đối xứng theo trục thẳng đứng, hãy tìm khoảng cách DI sao cho tải trọng sóng là cực tiểu.

Trong 2 bài toán trên, bán kính $R_{\min}$ được xem như là không đổi nhằm đòi hỏi mặt cắt ngang bé nhất tại $R = R_{\min}$ của công trình phải lớn hơn hoặc bằng giới hạn cho phép để không gây ảnh hưởng đến sự bền vững, kết cấu của công trình và khả năng thao tác kỹ thuật công trình.

Đối với bài toán 1, có thể giải thích như sau: Giả sử cần phải xây dựng một bể chứa dầu ở ngoài khơi với mục đích tiêu chứa được một lượng dầu nhất định ($V = \text{const}$), hãy tìm khoảng cách DI sao cho tải trọng sóng là bé nhất.

Đối với bài toán 2, có thể giải thích như sau: Diện tích mặt ướt của công trình liên quan đến lượng vật liệu (như bê tông, sắt thép,...) cần thiết cho xây dựng công trình. Như vậy với cùng một độ dày bê tông và lượng bê tông không đổi, hãy tìm DI sao cho tải trọng sóng là nhỏ nhất.

Sau đây chúng tôi dùng bộ chương trình tạo lập trong [1] để tính toán thử nghiệm số cho 2 bài toán trên đối với hai ví dụ cụ thể, ứng với 2 giá trị $R_{\min}$ và một số bước sóng cho trước.

2. Xét bài toán 1

Giả sử công trình biển có thể tích choán nước V bằng thể tích choán nước của hình trụ tròn có bán kính $R_{tru} = 16\,\text{m}$, $H = 80\,\text{m}$. Xét công trình biển có đường sinh dạng (1.1) trong hai trường hợp $R_{\min} = 8\,\text{m}$ và $R_{\min} = 12\,\text{m}$, còn DI lần lượt bằng $0,1H$; $0,2H$; $0,25H$; $0,3H$; $0,35H$; $0,4H$; $0,45H$; $0,5H$; $0,6H$; $0,7H$; $0,75H$; $0,8H$; $0,85H$; $0,9H$; $1H$.

Thay R từ (1.1) vào biểu thức

$$V = \int_{-H}^{0} \pi R^2 dz = \pi R_{tru}^2 . H = \text{const},$$

thu được phương trình bậc 2 đối với hệ số a (ứng với mỗi $R_{\min}$ và DI cho trước). Lấy nghiệm $a > 0$ (loại bỏ nghiệm $a < 0$), đem thay vào (1.1), xác định được hình dạng mặt ướt công trình và sử dụng [1], xác định được tải trọng sóng F_x, F_z và mô men Y_m. Đã tiến hành tính cho một số giá trị số sóng khác nhau. Chẳng hạn như trên các hình 2, 3, 4 là các tải trọng sóng không thứ nguyên F_x, F_z và mô men lật Y_m (đối với vị trí $(0, 0, -H)$) tác động lên công trình ứng với giá trị số sóng $k = 0,005$, ở đây: $A = R_{tru}$

$$F_x = \frac{\overline{F_x}}{4\rho g A_0 A H}\ ; \quad F_z = \frac{\overline{F_z}}{4\rho g A_0 A H}\ ; \quad Y_m = \frac{\overline{Y_m}}{2\pi\rho g A_0 A^2 H}\ .$$

Đường số (1), (2) là kết quả tính toán tương ứng với $R_{\min} = 0,5R_{tru}$ và $0,75R_{tru}$. Đường số (3) là kết quả tính toán đối với hình trụ tròn thẳng đứng có bán kính R_{tru}.

Kết quả cho thấy:

- Tải trọng sóng F_x và mô men lật Y_m đạt giá trị cực tiểu khi $DI \approx (0,75 \div 0,8)H$.

- Tải trọng sóng F_z đạt giá trị cực tiểu tại vị trí $DI \approx (0,7 \div 0,75)H$ và cực đại tại $DI \approx 0,3H$.

- Tại lân cận các giá trị cực tiểu này, các trị số của đường số (1) và (2) đều nhỏ hơn trị số của đường số (3).

Tại lân cận vị trí "tối ưu" $DI = 0,8H$; với số sóng $k = 0,055$, đã tính tải trọng sóng ứng với các $R_{\min}$ khác nhau, lần lượt bằng 0,25; 0,375; 0,5; 0,625; 0,75; 0,875; 1 lần R_{tru} và mô tả trên hình 5. Kết quả cho thấy: Với bán kính $R_{\min}$ nhỏ hơn thì tải trọng F_x và mô men Y_m cũng nhỏ hơn, còn tải trọng F_z thì lớn hơn. Khi $R_{\min} = R_{tru}$ thì kết quả trùng với kết quả trong [3].

Trên các hình 6, 7 là các kết quả tính tải trọng F_x, mômen Y_m theo các số sóng khác nhau tại vị trí "tối ưu" $DI = 0,8H$ trong 2 trường hợp $R_{\min} = 0,5R_{tru}$ (đường số (1)); $R_{\min} = 0,75R_{tru}$ (đường số (2)), còn đường số (3) là hình trụ tròn thẳng đứng - kết quả trong [3]. Như vậy: Với cùng một số sóng, các tải trọng sóng F_x, Y_m của công trình biển tròn xoay, đối xứng theo trục thẳng đứng, có đường sinh dạng parabol (1.1) và $R_{\min} \leq R_{tru}$ thì đều nhỏ hơn các tải trọng sóng tương ứng của hình trụ tròn thẳng đứng có cùng một lượng choán nước và khí $R_{\min}$ nhỏ hơn thì các tải trọng sóng này cũng nhỏ hơn. Đối với tải trọng F_z thì ngược lại song khá nhỏ, không mô tả ở đây.

Nhận thấy rằng, áp suất thủy động của sóng tập trung chủ yếu ở vùng gần mặt thoáng của chất lỏng và giảm dần rất nhanh theo độ sâu dưới mặt thoáng. Vì vậy về mặt định tính, nếu không xét đến lực sóng nhiễu xạ thì tải trọng sóng cực tiểu tác động lên công trình sẽ đạt được ở vị trí $DI = H$. Song trong bài báo này, do xét đến cả sóng nhiễu xạ nên hiệu ứng nhiễu xạ của sóng (tương tác sóng giữa các phần tử trên mặt ướt công trình) đã làm cho tải trọng sóng đạt cực tiểu tại vị trí $DI \approx 0,8H$.

Tóm lại: Cần chọn $R_{\min} \approx R^*$, ở đây R^* - bán kính bé nhất trong các bán kính cho phép sự bền vững của công trình và chọn $DI = (0,75 \div 0,8)H$ thì tải trọng và mô men sóng là cực tiểu.

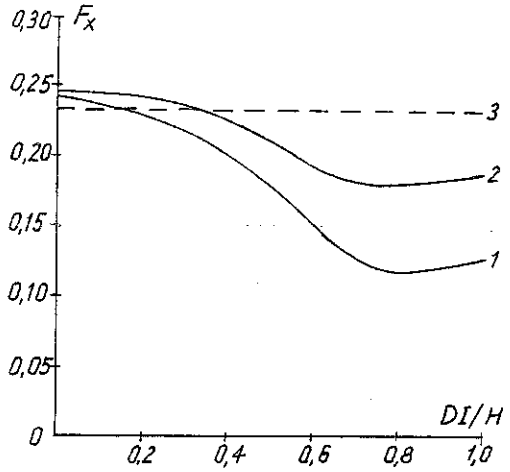
3. Xét bài toán 2

Giả sử công trình biển có diện tích mặt ướt S bằng diện tích mặt ướt của hình trụ tròn có bán kính $R_{tru} = 16\,\text{m}$, $H = 80\,\text{m}$. Cũng xét công trình biển có đường sinh dạng (1.1) trong hai trường hợp $R_{\min} = 8\,\text{m}$ và $R_{\min} = 12\,\text{m}$, còn DI lần lượt bằng $0,1H$; $0,2H$; $0,25H$; $0,3H$; $0,35H$; $0,4H$; $0,45H$; $0,5H$; $0,6H$; $0,7H$; $0,75H$; $0,8H$; $0,85H$; $0,9H$; $1H$.

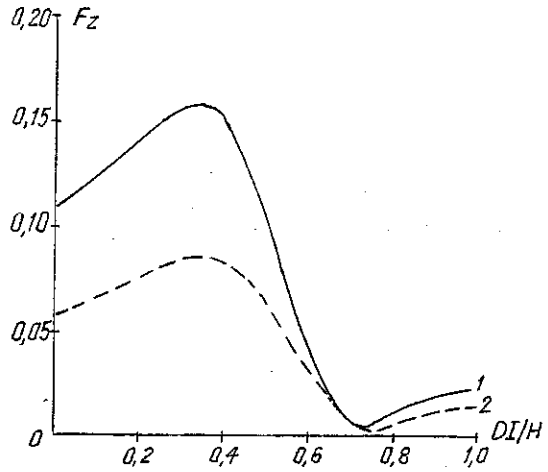
Thay R từ (1.1) vào biểu thức

$$S = \int_{-H}^{0} 2\pi R dz = 2\pi R_{tru} H = \text{const},$$

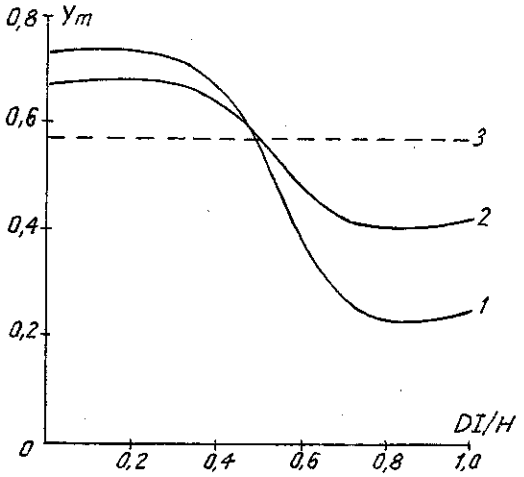
thu được phương trình bậc 1 đối với hệ số a (ứng với mỗi $R_{\min}$ và DI cho trước). Đem thay a vào (1.1), xác định được hình dạng mặt ướt công trình và sử dụng [1], xác định được tải trọng sóng. Cũng đã tính cho các $R_{\min}$ khác nhau và các số sóng khác nhau. Chẳng hạn với $k = 0,005$, kết quả chỉ ra trên các hình $8 \div 13$ cho thấy tuy các giá trị bằng số (dưới dạng không thứ nguyên)



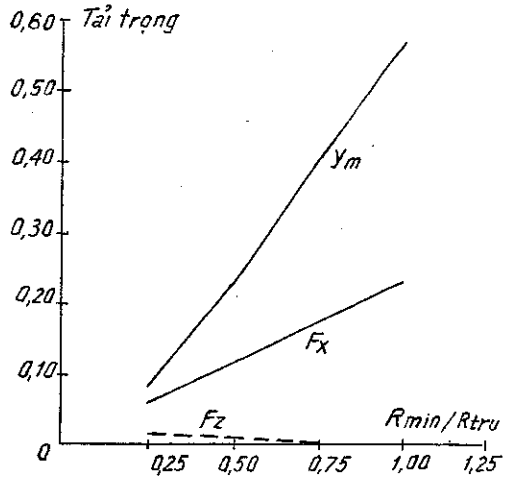
Hình 2. Tải trọng F_x với V = const



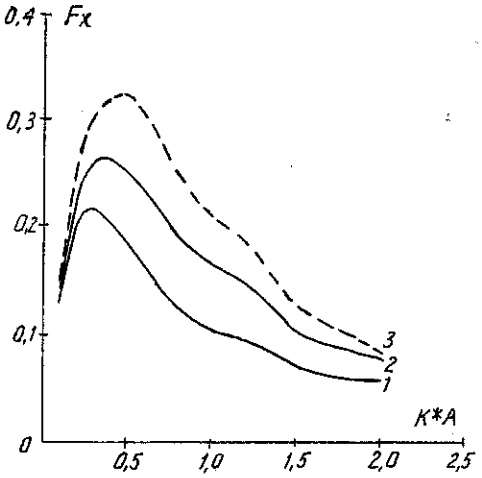
Hình 3. Tải trọng F_z với V = const



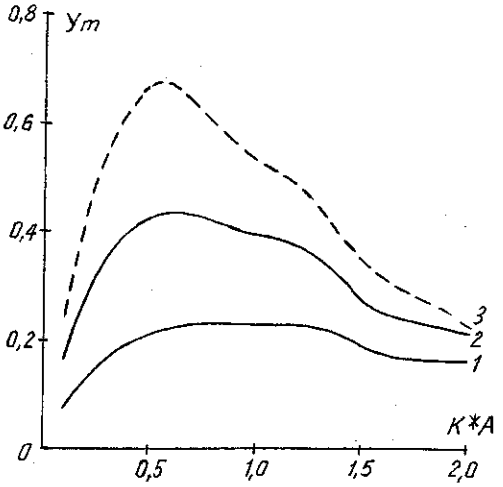
Hình 4. Mô men lật Y_m với V = const



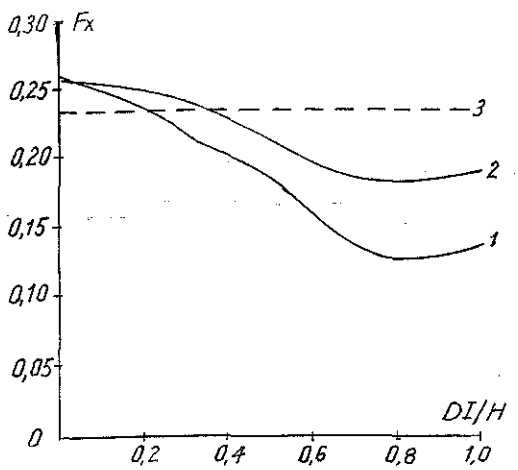
Hình 5. Sơ đồ tải trọng khi V = const



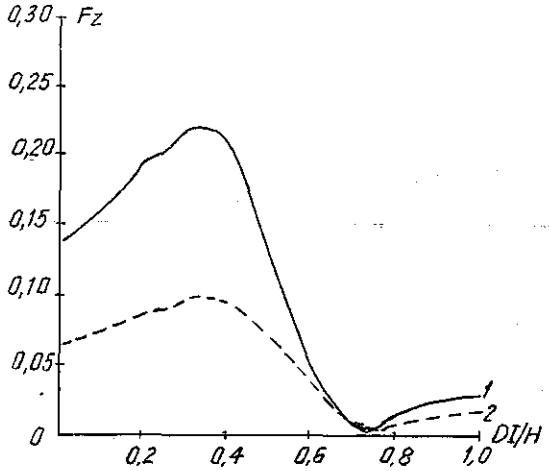
Hình 6. F_x so với trụ tròn khi V = const



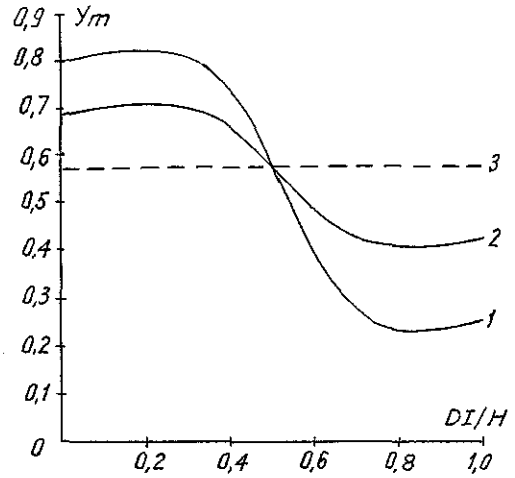
Hình 7. Y_m so với trụ tròn khi V = const



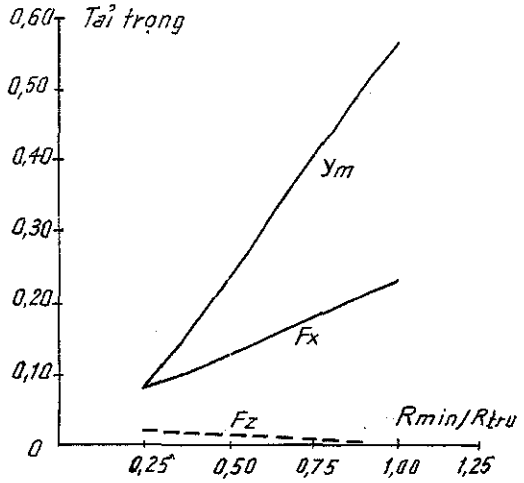
Hình 8. Tải trọng F_x với S = const



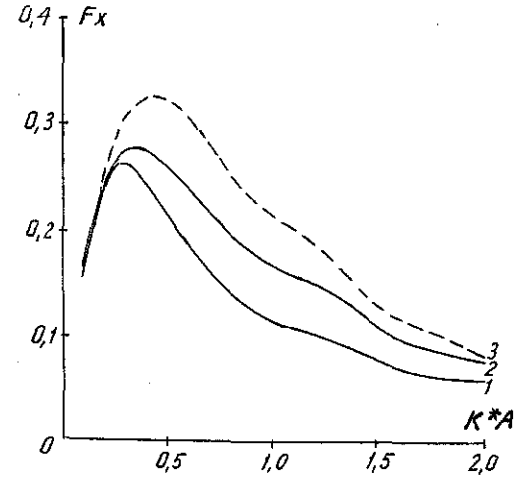
Hình 9. Tải trọng F_z với S = const



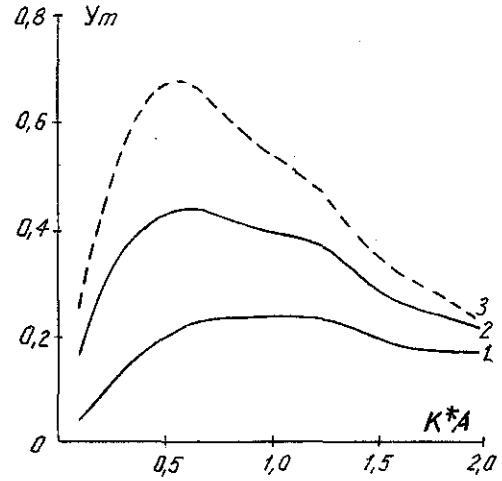
Hình 10. Mô men lật Y_m với S = const



Hình 11. Sơ đồ tải trọng khi S = const



Hình 12. F_x so với trụ tròn khi S = const



Hình 13. Y_m so với trụ tròn khi S = const

của các tải trọng sóng có khác so với bài toán 1 tương ứng, song về mặt định tính thì giống nhau. Vì thế cũng thu nhận được các nhận xét giống như nhận xét tương ứng của bài toán 1.

4. Kết luận

Công trình biển dạng tròn xoay, đối xứng theo trục thẳng đứng với đường sinh dạng parabol (1.1), $R_{\min}$ không đổi và thể tích choán nước hoặc diện tích mặt ướt không đổi đạt được tải trọng sóng F_x và mô men Y_m cực tiểu tại lân cận vị trí $DI \approx 0,8H$ và tải trọng sóng F_z cực tiểu tại lân cận vị trí $DI \approx 0,7H$.

Cần lưu ý rằng, ở đây mới chỉ thực hiện việc tính toán cho các giá trị cụ thể của $R_{\min}$, số sóng k, chiều sâu H cũng như của R_{tru} ở dạng chưa không thứ nguyên hóa. Do vậy các kết luận nêu trên chưa mang tính tổng quát. Vấn đề này, cũng như các bài toán tương tự đối với công trình biển dạng tròn xoay, đối xứng theo trục thẳng đứng có đường sinh dạng khác như hyperbol ... sẽ là đối tượng của các nghiên cứu tiếp theo.

Bài báo này được hoàn thành nhờ sự hỗ trợ một phần kinh phí của đề tài nghiên cứu cơ bản về khoa học tự nhiên. Tác giả xin chân thành cảm ơn Gs Ts Phạm Văn Ninh đã giúp đỡ trong việc thiết lập bài toán và cho một số ý kiến bổ ích.

Địa chỉ:

Viện Cơ học

Nhận ngày 2/8/1997

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Tiến Đạt. Tương tác giữa sóng điều hòa với vật thể cố định đối xứng trục. Tạp chí Cơ học, số 1, 1994, 20-28.
2. Kiyokawa T., Ohyama T. Hybrid method for analyzing hydrodynamic forces on axisymmetric bodies and its applications. Proceedings of the fifth Int. offshore mechanics and arctic engineering symposium. Vol.1, 1986, 166-173.
3. MacCamy R. C. and Fuchs R. A. Wave forces on piles: a diffraction theory "Tech. Memo., No 69, Beach erosion board, 1954, 1-17.

SUMMARY

THE OPTIMUM OF WAVE FORCES ACTING ON AXISYMMETRIC, PARABOLOIDAL BODIES

In this paper, wave forces acting on axisymmetric paraboloidal bodies are considered by using numerical model presented in [1]. The optimum of wave forces is obtained in the case of constant volume and constant wetted surface of the bodies.