

## BỘ TẮT CHẤN ĐỘNG LỰC CHO MÁY KHOAN

NGUYỄN VĂN ĐẠO

Để khử tự dao động của mũi khoan 1 người ta đã dùng một cơ cấu đặc biệt (h. 1) gồm ống tắt chấn 2 với lớp cản 3. Tự dao động của mũi khoan 1 phát sinh do ma sát giữa đầu mũi khoan và chi tiết khoan 4. Chi tiết khoan quay với vận tốc góc không đổi, trong khi mũi khoan chuyển động tịnh tiến thẳng cũng với vận tốc không đổi.

Trong công trình [1] người ta đã khảo sát bộ tắt chấn mạnh, khi các thông số của nó hữu hạn và đi đến kết luận là để đạt hiệu quả tắt chấn cao, cần tăng hệ số ma sát của lớp cản 3.

Phần đầu của bài báo này nghiên cứu bộ tắt chấn yếu, khi độ cứng  $C_2$  và mômen quán tính  $I_2$  nhỏ. Hai phần còn lại của bài báo trình bày bộ tắt chấn phức tạp khi nó liên kết đàn hồi với dụng cụ khoan.

Kết quả nghiên cứu cho thấy với bộ tắt chấn mạnh, tăng lực cản của môi trường cản 3 sẽ làm giảm rõ rệt biên độ hoặc tắt hoàn toàn dao động của dụng cụ khoan. Còn với bộ tắt chấn yếu, cần phải chọn hệ số cản của môi trường 3 một cách thích hợp mới giảm có hiệu quả dao động của dụng cụ khoan.

### §1. BỘ TẮT CHẤN YẾU

Giả thử các lực cản là nhỏ, ta có thể viết các phương trình chuyển động của hệ khảo sát trong trường hợp bộ tắt chấn yếu dưới dạng:

$$\begin{aligned} I_1 \ddot{\theta}_1 + C_1 \dot{\theta}_1 &= \varepsilon \{ -h(\dot{\theta}_1 - \dot{\theta}_2) + M(\dot{\theta}_1) \}, \\ I_2 \ddot{\theta}_2 + C_2 \dot{\theta}_2 &= h(\dot{\theta}_1 - \dot{\theta}_2). \end{aligned} \quad (1.1)$$

Trong đó ký hiệu:

$I_1, I_2$  - mômen quán tính của mũi khoan 1 và ống tắt chấn 2.

$C_1, C_2$  - độ cứng khi xoắn của mũi khoan và ống tắt chấn.

$h$  - hệ số cản của môi trường 3.

$M(\dot{\theta}_1)$  - mômen của hệ ma sát giữa mũi khoan 1 và chi tiết khoan 4.

$M(\dot{\theta}_1) = \alpha \dot{\theta}_1 - \beta \dot{\theta}_1^3$ ;  $\alpha, \beta$  là những hằng số dương.

Chú ý rằng, trong trường hợp bộ tắt chấn « mạnh » các phương trình chuyển động có dạng.

$$\begin{aligned} I_1 \ddot{\theta}_1 + C_1 \dot{\theta}_1 &= \varepsilon \{ -h(\dot{\theta}_1 - \dot{\theta}_2) + M(\dot{\theta}_1) \}, \\ I_2 \ddot{\theta}_2 + C_2 \dot{\theta}_2 &= \varepsilon h(\dot{\theta}_1 - \dot{\theta}_2) \end{aligned} \quad (1.2)$$

và điều kiện khử tự dao động của dụng cụ khoan là [1]

$$h > \alpha \quad (1.3)$$

Nghiệm của phương trình (1.1) có thể tìm dưới dạng

$$\begin{aligned} \theta_1 &= a \cos \Phi, \quad \Phi = \omega_1 t + \psi, \\ \theta_2 &= a(M \cos \Phi + N \sin \Phi) \end{aligned} \quad (1.4)$$

Trong đó :

$$\begin{aligned} \omega_i^2 &= C_i/I_i, \quad h_2 = h/I_2, \quad i = 1, 2, \\ M &= \frac{h_2^2 \omega_1^2}{h_2^2 \omega_1^2 + (\omega_2^2 - \omega_1^2)^2}, \quad N = \frac{h_2 \omega_1 (\omega_2^2 - \omega_1^2)}{h_2^2 \omega_1^2 + (\omega_2^2 - \omega_1^2)^2}. \end{aligned} \quad (1.5)$$

Thay (1.4) vào (1.2) và giải các phương trình thu được đối với  $\frac{da}{dt}$  và  $\frac{d\psi}{dt}$

ta có :

$$\begin{aligned} \frac{da}{dt} &= -\frac{\varepsilon}{\omega_1 I_1} [h(\theta_2 - \theta_1) + M(\theta_1)] \sin \Phi, \\ a \frac{d\psi}{dt} &= -\frac{\varepsilon}{\omega_1 I_1} [h(\theta_2 - \theta_1) + M(\theta_1)] \cos \Phi \end{aligned} \quad (1.6)$$

Thực hiện việc trung bình hóa các phương trình này theo thời gian ta sẽ được các phương trình xấp xỉ sau đây :

$$\begin{aligned} \frac{da}{dt} &= -\frac{\varepsilon a}{2I_1} \left( \alpha - \frac{h}{1 + \sigma^2 h^2} - \frac{3}{4} \beta \omega_1^2 a^2 \right), \\ a \frac{d\psi}{dt} &= -\frac{\varepsilon}{2I_1} h \omega_1 N a \end{aligned}$$

Trong đó

$$\sigma = \omega/I_2 |\omega_2^2 - \omega_1^2|$$

Biên độ dừng  $a = \text{const}$  sẽ là :

$$1. a = 0, \text{ ổn định nếu } \alpha < \frac{h}{1 + \sigma^2 h^2}$$

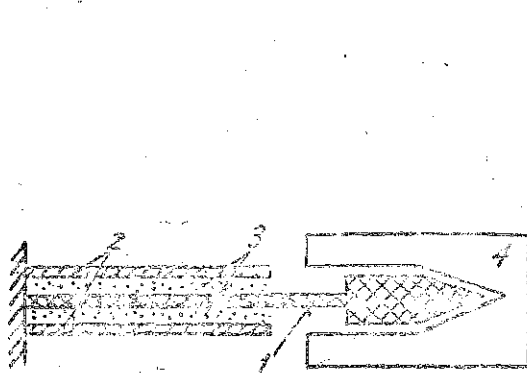
2.  $a \neq 0$ , xác định bởi :

$$\frac{3}{4} \beta \omega_1^2 a^2 = \alpha - \frac{h}{1 + \sigma^2 h^2} > 0 \quad (1.9)$$

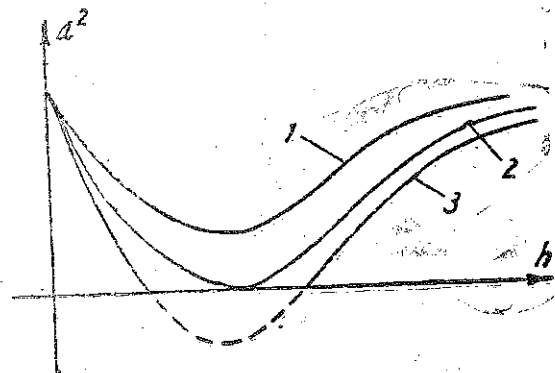
Đường biên độ (h.2) cho sự phụ thuộc của biên độ  $a$  vào hệ số ma sát  $h$  có cực tiểu tại giá trị  $h = h_* = \frac{1}{\sigma}$ . Rõ ràng là để hiệu quả tắt chấn cao cần chọn

$h = \frac{1}{\sigma}$ . Ngoài ra, nếu hệ số  $\alpha$  của ma sát phi tuyến nhỏ thua giá trị  $\alpha_* = \frac{h}{2}$  thì tự dao động xoắn của dụng cụ khoan sẽ hoàn toàn bị dập tắt. Trên hình 2 cái đường cong tương ứng với :

$$1 - \alpha_* < \alpha, \quad 2 - \alpha_* = \alpha, \quad 3 - \alpha_* > \alpha.$$



Hình 1



Hình 2

## 2. B) GẮT CHÂN LIÊN KẾT DÀN HỒI VỚI DỤNG CỤ KHOAN

Giải thử ống tất chấn 2 liên kết dàn hồi với dụng cụ khoan 1 với hệ số đàn hồi  $C_{12}$ . Khi đó các phương trình chuyển động sẽ có dạng

$$\begin{aligned} I_1 \ddot{\theta}_1 + C_1 \theta_1 + C_{12}(\theta_1 - \theta_2) &= \varepsilon [-h(\dot{\theta}_1 - \dot{\theta}_2) + m(\ddot{\theta}_1)], \\ I_2 \ddot{\theta}_2 + C_2 \theta_2 + C_{12}(\theta_2 - \theta_1) &= \varepsilon h(\dot{\theta}_1 - \dot{\theta}_2) \end{aligned} \quad (2.1)$$

Đưa vào các ký hiệu

$$\begin{aligned} \gamma_i^2 &= \frac{C_i + C_{12}}{I_i}, \quad l_i = \frac{C_{12}}{I_1(\Omega_i^2 - \gamma_i^2)}, \quad i = 1, 2 \\ \Omega_1^2 &= \frac{1}{2} \left[ \gamma_1^2 + \gamma_2^2 - \sqrt{(\gamma_1^2 - \gamma_2^2)^2 + 4C_{12}^2 / I_1 I_2} \right] \\ \Omega_2^2 &= \frac{1}{2} \left[ \gamma_1^2 + \gamma_2^2 + \sqrt{(\gamma_1^2 - \gamma_2^2)^2 + 4C_{12}^2 / I_1 I_2} \right] \end{aligned} \quad (2.2)$$

và thực hiện phép biến đổi

$$\theta_1 = \xi_1 + \xi_2, \quad \theta_2 = l_1 \xi_1 + l_2 \xi_2 \quad (2.3)$$

ta được các phương trình sau đây trong tọa độ chuẩn

$$\begin{aligned} \ddot{\xi}_1 + \Omega_1^2 \xi_1 &= \varepsilon K_1 (f_1 + l_1 f_2) \\ \ddot{\xi}_2 + \Omega_2^2 \xi_2 &= \varepsilon K_2 (f_1 + l_2 f_2) \end{aligned} \quad (2.4)$$

ở đây:

$$K_i = \frac{1}{I_2 + I_1 l_i^2},$$

$$f_1 = -h(\dot{\theta}_1 - \dot{\theta}_2) + \alpha \ddot{\theta}_1 - \beta \dot{\theta}_1^2, \quad f_2 = h(\dot{\theta}_1 - \dot{\theta}_2) \quad (2.5)$$

Ta tìm nghiệm của các phương trình (2.4) dưới dạng:

$$\xi_i = a_i \cos \eta_i, \quad \dot{\xi}_i = -a_i \Omega_i \sin \eta_i, \quad \eta_i = \Omega_i t + \psi_i \quad (2.6)$$

trong đó  $i = 1, 2$  và  $a_i, \psi_i$  là những biến chưa biết. Thay các biểu thức này vào (2.4) và giải ra với các biến mới ta có:

$$\begin{aligned} \Omega_i \frac{da_i}{dt} &= -\varepsilon K_i (f_1 + l_i f_2) \sin \eta_i \\ \Omega_i a_i \frac{d\psi_i}{dt} &= -\varepsilon K_i (f_1 + l_i f_2) \cos \eta_i; \quad i = 1, 2 \end{aligned} \quad (2.7)$$

Trung bình hóa vế phải của hệ (2.7) theo thời gian chúng ta có các phương trình xấp xỉ thứ nhất như sau:

$$\begin{aligned} \Omega_1 \frac{da_1}{dt} &= \frac{\varepsilon}{2} K_1 \Omega_1 a_1 \left[ \alpha - (1 - l_1)^2 h - \frac{3}{4} \beta (\Omega_1^2 a_1^2 + 2\Omega_2^2 a_1^2) \right], \\ \Omega_2 \frac{da_2}{dt} &= \frac{\varepsilon}{2} K_2 \Omega_2 a_2 \left[ \alpha - (1 - l_2)^2 h - \frac{3}{4} \beta (\Omega_2^2 a_2^2 + 2\Omega_1^2 a_2^2) \right], \\ \dot{\psi}_2 &= \dot{\psi}_1 = 0. \end{aligned}$$

Từ đây suy ra các nghiệm dừng  $a_1 = \text{const.}$

$$1. a_1 = a_2 = 0, \text{ ổn định nếu } \alpha < (1 - l_1)^2 h \text{ và } \alpha < (1 - l_2)^2 h. \quad (2.8)$$

2.  $a_2 = 0, a_1 \neq 0$  xác định bởi:

$$\frac{3}{4} \beta \Omega_1^2 a_1^2 = \alpha - (1 - l_1)^2 h, \alpha > (1 - l_1)^2 h \quad (2.9)$$

$$\text{ổn định nếu } \frac{3}{4} \beta \Omega_1^2 a_1^2 > \frac{1}{2} [\alpha - (1 - l_2)^2 h] \quad (2.10)$$

3.  $a_1 = 0, a_2 \neq 0$  xác định bởi

$$\frac{3}{4} \beta \Omega_2^2 a_2^2 = \alpha - (1 - l_2)^2 h, \alpha > (1 - l_2)^2 h \quad (2.11)$$

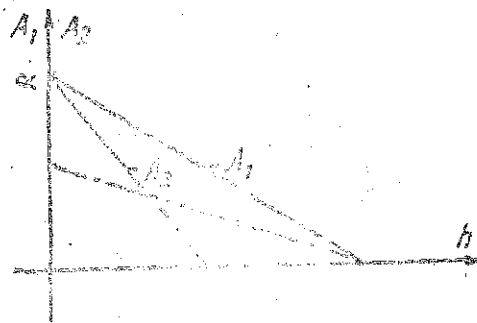
$$\text{ổn định nếu } \frac{3}{4} \beta \Omega_2^2 a_2^2 > \frac{1}{2} [\alpha - (1 - l_1)^2 h] \quad (2.12)$$

4.  $a_1 \neq 0, a_2 \neq 0$  nhưng không ổn định

Trên hình 3 biểu diễn sự phụ thuộc của biên độ tự chấn theo hệ số cản  $h$ . Nhánh vẽ đậm tương ứng với sự ổn định của dao

$$\text{động còn } A_1 = \frac{3}{4} \beta \Omega_1^2 a_1^2, \quad A_2 = \frac{3}{4} \beta \Omega_2^2 a_2^2.$$

Kết quả tìm được cho thấy rằng tăng ma sát của môi trường cản dẫn tới việc giảm biên độ của tự dao động của dụng cụ khoan.



Hình 3

### §3. BỘ TẮT CHẤN YẾU LIÊN KẾT ĐÀN HỒI VỚI DỤNG CỤ KHOAN.

Bây giờ ta xét bộ tắt chấn yếu, khi  $I_2, C_2$  và  $C_{12}$  là những đại lượng nhỏ, cấp  $\epsilon$ . Khi đó các phương trình chuyển động (2.1) trở thành:

$$\begin{aligned} I_1 \ddot{\theta}_1 + C_1 \dot{\theta}_1 &= \epsilon [-C_{12}(\theta_1 - \theta_2) - h(\dot{\theta}_1 - \dot{\theta}_2) + M(\theta_1)] \\ I_2 \ddot{\theta}_2 + (C_2 + C_{12})\dot{\theta}_2 + h\dot{\theta}_2 &= C_{12}\theta_1 + h\dot{\theta}_1 \end{aligned} \quad (3.1)$$

Ta biểu diễn nghiệm của các phương trình này dưới dạng:

$$\theta_1 = a \cos \Phi, \theta_2 = a(P \cos \Phi + Q \sin \Phi) \quad (3.2)$$

ở đây kí hiệu:

$$\begin{aligned} \Phi &= \omega_1 t + \psi, \omega_1^2 = C_1/I_1, \omega_2^2 = C_2/I_2, \gamma_2^2 = (C_2 + C_{12})/I_2 \\ P &= \frac{h^2 \omega_1^2 + C_{12} I_2 (\gamma_2^2 - \omega_1^2)}{h^2 \omega_1^2 + I_2^2 (\gamma_2^2 - \omega_1^2)^2}, \quad Q = \frac{h \omega_1 I_2 (\omega_1^2 - \omega_2^2)}{h^2 \omega_1^2 + I_2^2 (\gamma_2^2 - \omega_1^2)^2} \end{aligned} \quad (3.3)$$

Để có các phương trình đối với những biến mới  $a$  và  $\psi$  ta thay (3.2) vào phương trình thứ nhất của hệ (3.1) và giải ra đối với  $da/dt, d\psi/dt$ :

$$\begin{aligned} \omega_1 \frac{da}{dt} &= \frac{\epsilon}{I_1} [C_{12}(\theta_1 - \theta_2) + h(\dot{\theta}_1 - \dot{\theta}_2) - \alpha \dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_1^2] \sin \Phi \\ \omega_1 a \frac{d\psi}{dt} &= \frac{\epsilon}{I_1} [C_{12}(\theta_1 - \theta_2) + h(\dot{\theta}_1 - \dot{\theta}_2) - \alpha \dot{\theta}_1 + \beta \dot{\theta}_1^2] \cos \Phi \end{aligned} \quad (3.4)$$

Thực hiện việc trung bình hóa vế phải của các phương trình này ta được trong xấp xỉ thứ nhất:

$$\omega_1 \frac{da}{dt} = \frac{\varepsilon \omega_1}{2I_1} a \left[ \alpha - \frac{I_2^2(\omega_2^2 - \omega_1^2)^2 h}{h^2 \omega_1^4 + I_2^2(\gamma_2^2 - \omega_1^2)^2} - \frac{3}{4} \beta \omega^2 a^2 \right],$$

$$\omega_{1a} \frac{d\psi}{dt} = \frac{\varepsilon_a}{2I_1} [C_2(1 - P) - hQ]. \quad (3.5)$$

Từ các phương trình (3.5) suy ra những nghiệm đứng sau đây :

1)  $a = 0$  ổn định nếu  $\alpha < \frac{I_2^2(\omega_2^2 - \omega_1^2)^2 h}{h^2 \omega_1^4 + I_2^2(\gamma_2^2 - \omega_1^2)^2}$

2)  $a \neq 0$  xác định bởi

$$\frac{3}{4} \beta \omega_1^2 a^2 = \alpha - \frac{I_2^2(\omega_2^2 - \omega_1^2)^2 h}{h^2 \omega_1^4 + I_2^2(\gamma_2^2 - \omega_1^2)^2} \quad (3.6)$$

Đường biên độ cho sự phụ thuộc của biên độ dao động  $a$  vào hệ số cản  $h$  có cực tiểu tại điểm :

$$h = h^* = \frac{I_2}{\omega_1} |\gamma_2^2 - \omega_1^2| \quad (3.7)$$

và giá trị  $a_*$  nhỏ nhất xác định bởi :

$$\frac{3}{4} \beta \omega_1^2 a_*^2 = \begin{cases} \alpha - \frac{I_2(\omega_2^2 - \omega_1^2)^2}{2\omega_1 |\gamma_2^2 - \omega_1^2|} & \text{nếu } \alpha > \frac{I_2(\omega_2^2 - \omega_1^2)^2}{2\omega_1 |\gamma_2^2 - \omega_1^2|} \\ 0 & \text{nếu } \alpha \leq \frac{I_2(\omega_2^2 - \omega_1^2)^2}{2\omega_1 |\gamma_2^2 - \omega_1^2|} \end{cases} \quad (3.8)$$

Do vậy, giá trị tối ưu của  $h$  để khử dao động của dụng cụ khoan là (3.7).

#### § 4. KẾT LUẬN

Bài báo đã đề cập đến cơ sở lý thuyết của việc tắt tự chấn động cho máy khoan. Bằng cách áp dụng các kết quả nghiên cứu từng quát trước đây [2], tác giả đã xét đầy đủ hơn [1] các trường hợp có thể xảy ra đối với bộ tắt chấn yếu và bộ tắt chấn mạnh có liên kết đàn hồi với dụng cụ khoan.

1. Với bộ tắt chấn mạnh, khi các thông số của nó hữu hạn, tăng lực cản của môi trường sẽ làm giảm rõ rệt biên độ hoặc dập tắt hoàn toàn dao động của mũi khoan.

2. Với bộ tắt chấn yếu, khi độ cứng xoắn và mô men quán tính của nó nhỏ, cần thiết phải chọn hệ số cản của môi trường một cách thích hợp mới giảm có hiệu quả dao động của mũi khoan.

Địa chỉ :  
Viện Khoa học VN

Nhận ngày 20-6-1987

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. КУЗНЕЦОВА Т. И. и другие О гашении автоколебаний при глубоком сверлении. В кн. Колебания и устойчивость механических систем. Изд. Ун та. Ленинград, 1981.
2. НГУЕН ВАН ДАО, НГУЕН ВАН ДИНЬ. Динамический гаситель для автоколебательной системы. Proceedings of the XIV<sup>th</sup> conference Dynamics of Machines, Czechoslovakia, September 1983.

#### SUMMARY

##### DYNAMIC ABSORBER FOR DRILLING INSTRUMENT

For damping the self - excited oscillation of the instrument when drilling the hole in metals a special construction is used (fig1), which consists of a cylindrical absorber tube 2 with vibrodamping layer 3.

It turned out that for strong absorber increasing the friction of vibrodamping layer leads to essential decrease or full damping of oscillation of the instrument. In the case of weak absorber, for optimal damping of that oscillation it is necessary to choose the suitable value of the friction.