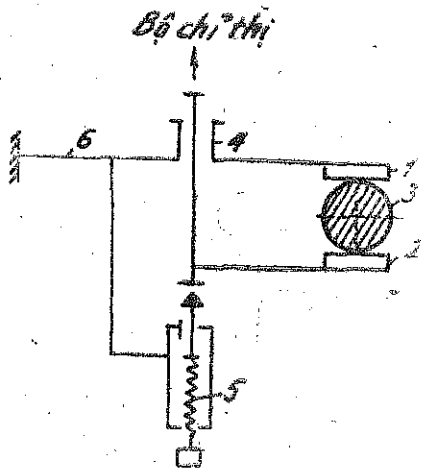


TÍNH TOÁN ĐỘNG LỰC HỌC HÀM ĐO HAI TIẾP ĐIỂM BA BẬC TỰ DO

NGUYỄN VĂN KHANG, HỒ ĐẮC THỌ, ĐỖ SANH,
ĐỖ TRỌNG HÙNG, BÀNH XUÂN THỌ

§1. MỞ ĐẦU

Hàm đo chủ động thường được dùng trong gia công cơ khí. Nó có nhiệm vụ thông báo thường xuyên và kịp thời sự biến động của kích thước đang được gia công để tự động hoặc thông qua người thợ mà khống chế kích thước ấy đạt tới trị số cần thiết. Một kiểu



Hình 1

hàm đo chủ động dùng cho máy mài tròn ngoài (hình 1) đã được thiết kế và chế tạo thử ở trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Hai đầu đo 1 và 2 luôn luôn kẹp lấy chi tiết 3 nhờ ổ trượt 4 và lò xo 5. Toàn bộ hệ thống được treo bởi lò xo lá 6 có một đầu ngàm cố định để tạo khả năng cho đầu đo 1 luôn tỷ sát lên bề mặt chi tiết cần đo. Sự biến động kích thước chi tiết trong quá trình gia công được chuyển tới một bộ chỉ thị, thường xuyên báo cho người thợ biết để khống chế.

Một trong những yêu cầu quan trọng để hàm đo cung cấp thông tin đúng là hai đầu đo 1 và 2 phải luôn luôn tiếp xúc với bề mặt chi tiết cần đo.

Dưới đây, trên cơ sở đưa ra mô hình cơ học của loại hàm đo này, sẽ thiết lập các phương trình vi phân chuyển động của nó. Sau đó khảo sát chuyển động của hàm đo trong trường hợp nó luôn tiếp xúc với chi tiết cần đo.

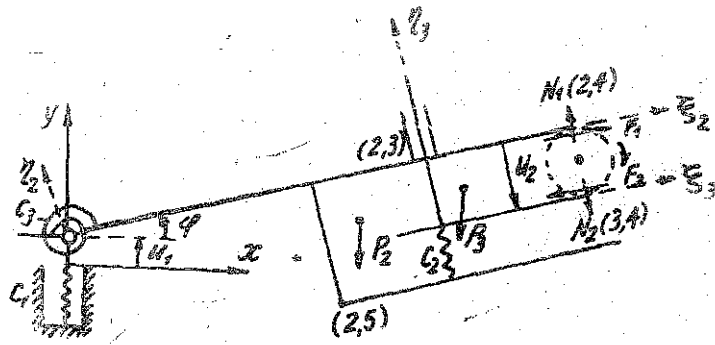
§2. PHƯƠNG TRÌNH VI PHÂN CHUYỂN ĐỘNG CỦA HÀM ĐO

Trên cơ sở sơ đồ kết cấu hàm đo (hình 1), chúng ta đưa ra mô hình cơ học của hàm đo (hình 2). Trong đó thay thế lò xo lá bằng lò xo tịnh tiến với hệ số cứng c_1 và lò xo xoắn với hệ số cứng c_3 . Các hệ số cứng này được xác định theo các công thức trong [1].

Theo hình 2 hàm đo chủ động của chúng ta là một hệ hồ lò nôm 3 bậc tự do. Vị trí của nó được xác định bởi 3 tham số u_1 , u_2 và φ . Các ngoại lực tác dụng lên hàm đo gồm có:

- Trọng lượng các khâu P_2, P_3
- Lực đàn hồi tuyến tính của các lò xo với các hệ số cứng c_1
- Lực cản tuyến tính của môi trường với các hệ số cản b_1

— Phần lực của chi tiết cần đo tác dụng lên hàm đo $\vec{N}_1, \vec{N}_2, \vec{F}_1, \vec{F}_2$.
 Ngoài ra khi xác định các lực suy rộng có tính đến nội lực ở khớp tịnh tiến giữa khâu 2 và khâu 3.



Hình 2

Trong bài toán của chúng ta các lực ma sát Cu lông \vec{F}_1, \vec{F}_2 có thể xem là luôn luôn cùng hướng theo chiều thuận với chiều quay của chi tiết. Chúng ta sẽ xem \vec{F}_1, \vec{F}_2 không phụ thuộc vào vận tốc tương đối và có độ lớn tỷ lệ với độ lớn của phần lực pháp tuyến \vec{N}_i ($i = 1, 2$). Hệ số tỷ lệ là f . Tuy là một giả thiết khá thô, nhưng ta có thể chấp nhận được trong kỹ thuật [3, 4]. Sử dụng phương trình Lagrange loại hai [2]

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} = Q_i \quad (2.1)$$

ta nhận được các phương trình vi phân chuyển động của hàm đo:

$$\begin{aligned} (m_2 + m_3)\ddot{u}_1 &= m_3\ddot{u}_2 \cos \varphi + [m_2 \xi_{22} + m_3(\xi_{23} + \xi_{33})]\ddot{\varphi} \cos \varphi - \\ &- m_2 \eta_{22} \dot{\varphi} \sin \varphi + m_3(u_2 - \eta_{33})\ddot{\varphi} \sin \varphi - [m_2 \xi_{22} + m_3(\xi_{23} + \xi_{33})]\dot{\varphi}^2 \sin \varphi - \\ &- m_2 \eta_{22} \dot{\varphi}^2 \cos \varphi + m_3(u_2 - \eta_{33})\dot{\varphi}^2 \cos \varphi + 2m_3 u_2 \dot{\varphi} \sin \varphi = - (m_2 + m_3)g - \\ &- C_1 u_1 - b_1 \dot{u}_1 + (N_1 - N_2) \cos \varphi + f(N_1 - N_2) \sin \varphi \end{aligned} \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned} m_3 \ddot{u}_2 - m_3(\xi_{23} + \xi_{33})\ddot{\varphi} - m_3 \ddot{u}_1 \cos \varphi - m_3(u_2 - \eta_{33})\dot{\varphi}^2 = \\ - C_2[l_0 - (l_1 - u_2)] - b_2 \dot{u}_2 + m_3 g \cos \varphi + N_2 + f f_3 N_2 \text{Sign} u_2 + \\ + f_3 m_3 [g \sin \varphi + \dot{u}_1 \sin \varphi - (\xi_{23} + \xi_{33})\dot{\varphi}^2 + 2u_2 \dot{\varphi} + \\ + (u_2 - \eta_{33})\ddot{\varphi}] \text{Sign} u_2, \end{aligned} \quad (2.3)$$

$$\begin{aligned} - m_3(\xi_{23} + \xi_{33})\ddot{u}_2 + [J_2 + J_3 + m_2(\xi_{22}^2 + \eta_{22}^2) + m_3(\xi_{23} + \xi_{33})^2]\ddot{\varphi} + \\ + [m_2 \xi_{22} + m_3(\xi_{23} + \xi_{33})]\dot{u}_1 \cos \varphi + m_3(u_2 - \eta_{33})\dot{u}_1 \sin \varphi - \\ - m_2 \eta_{22} \dot{u}_1 \sin \varphi + m_3(u_2 - \eta_{33})^2 \ddot{\varphi} + 2m_3(u_2 - \eta_{33})\dot{u}_2 \dot{\varphi} = \\ = - C_3 \varphi - b_3 \dot{\varphi} - m_2 g \xi_{22} \cos \varphi + m_2 g \eta_{22} \sin \varphi - m_3 g(\xi_{23} + \xi_{33}) \cos \varphi - \\ - m_3 g(u_2 - \eta_{23}) \sin \varphi + (N_1 - N_2)\xi_{24} - f \eta_{24} N_1 + f \eta_{34} N_2 - f N_2 u_2, \end{aligned} \quad (2.4)$$

trong đó:

- l_0 độ dài tự nhiên của lò xo c_2
- l_1 khoảng cách từ điểm (2,5) đến trục ξ_2

m_i khối lượng khâu thứ i

J_i mô men quán tính của khâu thứ i đối với trục đi qua trọng tâm của nó.

ξ_{ii}, η_{ii} tọa độ trọng tâm khâu thứ i đối với hệ tọa độ gắn liền với khâu đó.

ξ_{ik}, η_{ik} tọa độ của điểm (i, k) đối với hệ trục tọa độ gắn liền với khâu i

Lực ma sát khô ở khớp tịnh tiến giữa khâu 2 và khâu 3 là $F_3 = f_3 N_3$. Các phương trình (2.2), (2.3) và (2.4) là các phương trình vi phân phi tuyến phức tạp. Để có thể nhận được các phương trình đơn giản hơn mô tả gần đúng chuyển động của hàm đo, ta đưa vào phép đổi biến số:

$$\begin{aligned} u_1 &= (R_1 + q_1)\cos q_3 - \xi_{24}\sin q_3 + y_4 \\ u_2 &= R_1 + R_2 + q_1 + q_2 \\ \varphi &= q_3, \end{aligned} \quad (2.5)$$

trong đó y_4 là tung độ tâm hình học của chi tiết quay, R_i là tổng bán kính chi tiết quay r và khoảng cách δ_i từ trục ξ_i đến bề mặt tiếp xúc của chi tiết quay.

Thế (2.5) vào các phương trình (2.2), (2.3), (2.4) và bỏ qua các số hạng phi tuyến do q_1, q_2, q_3 có giá trị nhỏ, ta nhận được các phương trình vi phân chuyển động tuyến tính của hàm đo:

$$\begin{aligned} m_2 \ddot{q}_1 - m_3 \ddot{q}_2 + [m_2(\xi_{22} - \xi_{24}) + m_3(\xi_{23} + \xi_{33} - \xi_{24})] \ddot{q}_3 + \\ + b_1 \dot{q}_1 - \xi_{24} b_1 \dot{q}_3 + C_1 q_1 - [\xi_{24} C_1 + f(N_1 - N_2)] q_3 = \\ = - (m_2 + m_3)g - C_1(R_1 + y_4) + N_1 - N_2 \end{aligned} \quad (2.6)$$

$$\begin{aligned} m_3 \ddot{q}_2 + m_3 [(\xi_{24} - \xi_{23} - \xi_{33}) + f_3 m_3 (\gamma_{33} - R_1 - R_2) \text{Sign}(\dot{q}_1 + \dot{q}_2)] \ddot{q}_3 + \\ + b_2 \dot{q}_1 + b_2 \dot{q}_2 - C_2 q_1 - C_2 q_2 - f_3 m_3 g q_3 \text{Sign}(\dot{q}_1 + \dot{q}_2) = \\ = m_3 g - C_2 \Delta + N_2 [1 + f f_3 \text{Sign}(\dot{q}_1 + \dot{q}_2)] \end{aligned} \quad (2.7)$$

$$\begin{aligned} m_2 \xi_{22} \ddot{q}_1 - m_3 (\xi_{23} + \xi_{33}) \ddot{q}_2 + [J_2 + J_3 + m_2 (\xi_{22}^2 + \eta_{22}^2) - m_2 \xi_{22} \xi_{24} + \\ + m_3 (\xi_{23} + \xi_{33}) (\xi_{22} + \xi_{33} - \xi_{24}) + m_3 (R_1 + R_2 - \gamma_{33})^2] \ddot{q}_3 + \\ + b_3 \dot{q}_3 + f N_2 q_1 + f N_2 q_2 + [C_3 - m_2 g \gamma_{22} + m_3 g (R_1 + R_2 - \gamma_{33})] q_3 = \\ = - m_2 g \xi_{22} - m_3 g (\xi_{23} + \xi_{33}) + N_1 (\xi_{24} - f \gamma_{24}) - \\ - N_2 (\xi_{24} - f \gamma_{34} + f R_1 + f R_2), \end{aligned} \quad (2.8)$$

trong đó ta sử dụng ký hiệu

$$\Delta = l_0 - l_1 + R_1 + R_2 \quad (2.9)$$

Như thế để mô tả chuyển động của hàm đo ta có ba phương trình vi phân (2.2), (2.3) (2.4) hoặc (2.6), (2.7), (2.8). Ba phương trình (2.2), (2.3), (2.4) chứa 5 ẩn là $u_1, u_2, \varphi, N_1, N_2$. Ba phương trình (2.6), (2.7), (2.8) chứa 5 ẩn q_1, q_2, q_3, N_1 và N_2 . Vì vậy phải có các điều kiện bổ sung để khử bớt đi hai ẩn thì mới có thể giải được các phương trình này.

§3. CÁC ĐIỀU THỨC XÁC ĐỊNH GẦN ĐÚNG CÁC PHẢN LỰC N_1 VÀ N_2

Điều kiện để cho hàm đo không rời khỏi chi tiết quay là các phản lực pháp tuyến N_1 và N_2 luôn dương.

Trong công trình này ta xét trường hợp hay gặp nhất trong kỹ thuật gia công cơ khí. Đó là trường hợp thiết diện của chi tiết quay hình tròn bán kính r và có độ lệch tâm e . Khi đó các điều kiện bổ sung là điều kiện tiếp xúc hình học giữa hàm đo và chi tiết cần đo. Ta có:

$$q_1 = e \sin(\Omega t + \alpha), \quad q_2 = -e \sin(\Omega t + \alpha) \quad (3.1)$$

Thế các điều kiện bổ sung (3.1) vào phương trình (2.7) ta được biểu thức để xác định N_2 :

$$N_2 = -m_3g + C_2\Delta + m_3e\Omega^2\sin(\Omega t + \alpha) + m_3(\xi_{24} - \xi_{23} - \xi_{33})\ddot{q}_3 \quad (3.2)$$

Thế (3.1) và (3.2) vào phương trình (2.6) và thực hiện một vài phép biến đổi đơn giản ta có:

$$\begin{aligned} N_1 = & m_2g + C_2\Delta + C_1(R_1 + y_4) + (C_1 - m_2\Omega^2) \operatorname{esin}(\Omega t + \alpha) \\ & + b_1e\Omega \cos(\Omega t + \alpha) + m_2(\xi_{22} - \xi_{24})\ddot{q}_3 - b_1\xi_{24}\ddot{q}_3 \\ & - f[C_1\xi_{24}/f + m_2g + m_3g + C_1(R_1 + y_4) \\ & + (C_1 - m_2\Omega^2 - m_3\Omega^2) \operatorname{esin}(\Omega t + \alpha) + b_1e\Omega \cos(\Omega t + \alpha)]\ddot{q}_3 \end{aligned} \quad (3.3)$$

Trong thực tế các đại lượng b_1 và tích ef rất nhỏ nên có thể bỏ qua. Khi đó từ (3.3) ta suy ra công thức tương đối đơn giản để xác định N_1 :

$$N_1 = m_2g + C_2\Delta + C_1(R_1 + y_4) + (C_1 - m_2\Omega^2) \operatorname{esin}(\Omega t + \alpha) + \quad (3.4)$$

$$m_2(\xi_{22} - \xi_{24})\ddot{q}_3 - [C_1\xi_{24} - f(m_2 + m_3)g - fC_1(R_1 + y_4)]\ddot{q}_3$$

Thế (3.1), (3.2) và (3.3) vào phương trình (2.8) ta nhận được phương trình vi phân xác định góc quay q_3 :

$$\begin{aligned} m_0\ddot{q}_3 + b_0\dot{q}_3 + [C_0 + C_v \sin(\Omega t + \alpha) + \mathcal{C}_v \cos(\Omega t + \alpha)]\ddot{q}_3 \\ = h_0 + h_v \sin(\Omega t + \alpha) + H_v \cos(\Omega t + \alpha) \end{aligned} \quad (3.5)$$

trong đó:

$$\begin{aligned} m_0 = & J_2 + J_3 + m_2[\xi_{22}^2 + \eta_{22}^2 - (2\xi_{22} - \xi_{24})\xi_{24} + f(\xi_{22} - \xi_{24})\eta_{24}] \\ & + m_3[(\xi_{23} + \xi_{33} - \xi_{24})(\xi_{23} + \xi_{33} - \xi_{24} + f\eta_{34} - fR_1 - fR_2) \\ & + (R_1 + R_2 - \eta_{33})^2] \end{aligned} \quad (3.6)$$

$$b_0 = b_3 + b_1\xi_{24}(\xi_{24} - f\eta_{24})$$

$$\begin{aligned} C_0 = & C_3 - m_2g\eta_{22} + m_3g(R_1 + R_2 - \eta_{33}) + C_1\xi_{24}(\xi_{24} - f\eta_{24}) \\ & + f(\xi_{24} - f\eta_{24})[m_2g + m_3g + C_1(R_1 + y_4)] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_0 = & m_2g(\xi_{24} - \xi_{22} - f\eta_{24}) + m_3g[\xi_{24} - \xi_{23} - \xi_{33} + f(R_1 + R_2 - \eta_{34})] \\ & + C_1(R_1 + y_4)(\xi_{24} - f\eta_{24}) - fC_2\Delta(R_1 + R_2 + \eta_{24} - \eta_{33}) \end{aligned}$$

$$C_v = ef(C_1 - m_2\Omega^2 - m_3\Omega^2)(\xi_{24} - f\eta_{24})$$

$$\mathcal{C}_v = efb_1\Omega(\xi_{24} - f\eta_{24})$$

$$\begin{aligned} h_v = & e\Omega^2[m_2(\xi_{22} - \xi_{24} + f\eta_{24}) + m_3(\xi_{23} + \xi_{33} - \xi_{24} - fR_1 \\ & - fR_2 + f\eta_{34})] + eC_1(\xi_{24} - f\eta_{24}) \end{aligned}$$

$$H_v = eb_1\Omega(\xi_{24} - f\eta_{24})$$

Do b_1 và ef là các đại lượng rất bé nên có thể bỏ qua \mathcal{C}_v và H_v . Phương trình vi phân (3.5) có thể đưa về dạng:

$$m_0\ddot{q}_3 + C_0q_3 = h_0 + h_v \sin(\Omega t + \alpha) - \varepsilon [b_0\dot{q}_3 + C_v \sin(\Omega t + \alpha)q_3], \quad (3.7)$$

trong đó ε là tham số bé.

Tóm lại các phần lực N_1 và N_2 của chi tiết quay tác dụng lên hàm đo được xác định theo các biểu thức gần đúng (3.3) và (3.2). Trong đó q_3 được xác định từ phương trình vi phân (3.7). Đó là điểm khác nhau cơ bản giữa loại hàm đo mà chúng ta khảo sát với các loại hàm đo chủ động đã được các tác giả khác nghiên cứu [5].

§ 4. CÁC ĐIỀU KIỆN GẮN ĐUNG ĐỀ HẠM ĐO KHÔNG RỜI CHI TIẾT QUAY

Do ý nghĩa thực tế ta bỏ qua các hệ số cản b_2, b_3 và đại lượng ef . Khi đó từ phương trình vi phân (3.7) ta có :

$$m_0 \ddot{q}_3 + C_0 q_3 = h_0 + h_v \sin(\Omega t + \alpha) \quad (4.1)$$

Trong quá trình bình ổn nghiệm của phương trình (4.1) có dạng

$$q_3 = \frac{h_0}{C_0} + \frac{h_v}{C_0 - m_0 \Omega^2} \sin(\Omega t + \alpha) \quad (4.2)$$

Do đó khi thiết kế phải chọn các thông số của hàm đo sao cho

$$\omega^2 = \frac{C_0}{m_0} \neq \Omega^2 \quad (4.3)$$

Thế (4.2) vào các biểu thức (3.4) và (3.2) ta được các công thức xác định các phản lực pháp tuyến N_1 và N_2 . Các biểu thức của các phản lực pháp tuyến N_1 và N_2 có dạng chung như sau :

$$N = A + B \sin(\Omega t + \alpha)$$

Do đó điều kiện để cho $N_1 > 0, N_2 > 0$ là :

$$A - |B| > 0 \quad (4.4)$$

Để cho hàm đo không rời khỏi chi tiết quay khi thiết kế phải chọn các tham số động học và động lực học của hàm đo thỏa mãn các điều kiện (4.4).

Để làm ví dụ minh họa ta xét hàm đo đã được thiết kế và chế tạo ở Trường Đại học Bách khoa Hà nội. Nếu lấy $C_2 \Delta = 5N$ và lấy các tham số đã chọn thiết kế vào các biểu thức của N_1 và N_2 ta có :

$$N_1 > 0, N_2 > 0$$

Theo công thức (4.3) ta tính được số vòng quay tới hạn là 1740 vòng/phút. Với các tham số đã chọn hàm đo của chúng ta luôn luôn tiếp xúc với chi tiết quay.

§ 5. KẾT LUẬN

Trong thời gian qua một nhóm cán bộ của Trường Đại học Bách khoa Hà nội đã tiến hành thiết kế, tính toán và chế tạo một số loại hàm đo chủ động. Trong nhóm, các đồng chí ở Bộ môn Máy chính xác phụ trách khâu thiết kế và chế tạo, các đồng chí ở Bộ môn Cơ học lý thuyết phụ trách khâu tính toán động lực. Việc xây dựng mô hình cơ học của hàm đo được toàn nhóm thảo luận và tiến hành một số thí nghiệm ở Phòng thí nghiệm Dao động của Bộ môn Cơ học lý thuyết với sự tham gia của kỹ sư Trần Tấn Hồng.

Trong bài báo này đã thiết lập phương trình vi phân chuyển động của một loại hàm đo chủ động có sơ đồ như hình 1; Sau đó xác định một cách gần đúng các điều kiện để hàm đo không rời khỏi chi tiết quay. Loại hàm đo này đã được chế tạo và sử dụng ở Trường Đại học Bách khoa Hà nội và một vài cơ sở sản xuất khác; Qua mẫu thử nghiệm bước đầu, sai số đo lớn nhất không quá 0,003mm.

Việc tiến hành xác định các tham số tối ưu của hàm đo và việc tính toán động lực hàm đo ở mô hình phi tuyến đang được tiến hành nghiên cứu tiếp.

Địa chỉ :

Đại học Bách khoa

Nhận ngày 8-4 1982

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. LOTZE W. Berechnung gekrümmter Biegefedern mit Hilfe konzentrierte Ersatzelemente. WZ der TU Dresden 4, S. 967 – 974, 14 (1965).
2. FISCHER U., STEPHAN W. Prinzipien und Methoden der Dynamik. Leipzig, VEB Fachbuchverlag 1972.
3. ТИМОШЕНКО С. П. Колебания в инженерном деле. физматгиз, Москва, 1959.
4. БИДЕРМАН В. Л. Прикладная теория механических колебаний Изд. Высшая школа, Москва, 1972.
5. ДОБРЫНИН Е. И., ЧАН ЧЖУН ЧЖЕНЬ. Вопросы динамической точности приборов автоматического контроля размеров. Москва, 1963.

ZUSAMMENFASSUNG

DYNAMISCHE BERECHNUNG DES ZWEIPUNKTMESS- WERTAUFNEMERS MIT DREI FREIHEITSGRADEN

In der Polytechnischen Hochschule Hanoi werden einige Messwertaufnehmer fuer direkte Druckmessung aufgebaut. In vorliegender Arbeit wurden die Differentialgleichungen eines Zweipunktmesswertaufnehmers mit drei Freiheitsgraden beschrieben. Dann wurde die taendige Beruehrungsbedingung zwischen dem Aufnehmer und dem Drehelement behandelt

THÔNG BÁO

CỦA BAN CHẤP HÀNH TRUNG ƯƠNG HỘI CƠ HỌC VIỆT NAM

Ngày 25-3-1983 BCHTU Hội Cơ học Việt nam đã họp phiên thường kỳ lần thứ hai tại Hà nội để nghe các quyết định của Hội đồng Bộ trưởng về việc công nhận Hội Cơ học Việt nam và bản điều lệ Hội theo Nghị quyết của Đại hội thành lập Hội Cơ học Việt nam tại Huế ngày 5-8-1982.

BCHTU Hội đã nhất trí cử đồng chí Phạm Huyền làm Tổng thư ký Hội thay đồng chí Nguyễn Trường đi công tác xa; đã quyết định thành lập 5 tiểu ban công tác và cử các đ/c trưởng tiểu ban gồm: Tiểu ban hợp tác và đối ngoại (Nguyễn Văn Đạo), tiểu ban tổ chức và tài chính (Lê Quý An), tiểu ban bồi dưỡng và đào tạo (Đào Huy Bích), Tiểu ban kinh tế và phục vụ sản xuất (Lê Đức Thăng), tiểu ban thông tin và xuất bản (Phạm Huyền); đã quyết định xúc tiến thành lập 5 phân Hội Cơ học chuyên ngành và các chi hội Cơ học địa phương sau: phân hội Cơ học đại cương, phân hội Cơ học chất lỏng và chất khí, phân hội cơ học vật rắn biến dạng, phân hội cơ học máy, phân hội cơ học đất đá – môi trường rời, chi Hội cơ học Hà nội, chi Hội cơ học Thành phố Hồ Chí Minh, chi Hội cơ học Huế, chi Hội cơ học Đà Nẵng v.v... BCH đã cử các ủy viên tham gia ban trụ bị và ấn định thời gian tổ chức đại hội thành lập các phân hội và chi hội đó.

Về các chi tiết xin hỏi tại Trụ sở Hội Cơ học Việt nam, 208D Đội Cấn, Hà nội, Điện thoại 5.7241.

BCHTU Hội Cơ học Việt nam