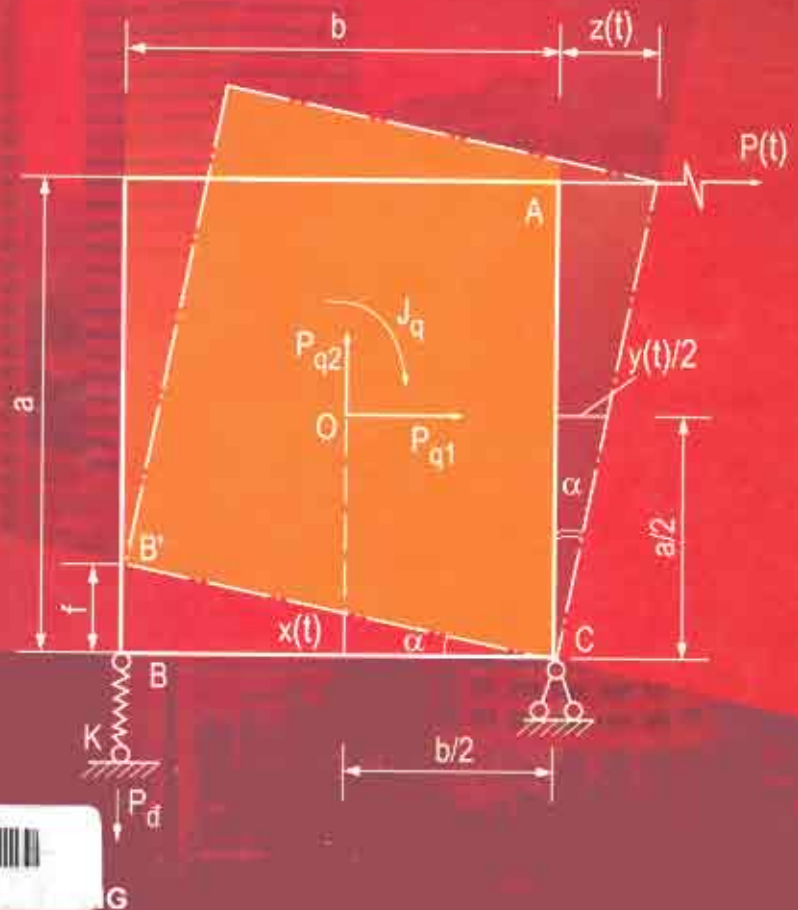


TS PHẠM ĐÌNH BA (Chủ biên)
TS NGUYỄN TÀI TRUNG

ĐỘNG LỰC HỌC CÔNG TRÌNH



Vt 175/2006

G

PGS. TS. PHẠM ĐÌNH BA (Chủ biên)
PGS. TS. NGUYỄN TÀI TRUNG

ĐỘNG LỰC HỌC CÔNG TRÌNH

NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG
HÀ NỘI - 2005

LỜI NÓI ĐẦU

Động lực học công trình là phần chuyên đề của Cơ học công trình nghiên cứu các phương pháp tính toán công trình chịu các tác dụng động. Trong thực tế, ta thường phải giải quyết các bài toán về Động lực học công trình như: Các công trình nhà công nghiệp chịu tải trọng động; các công trình nhà cao tầng, các công trình cầu... chịu tác dụng động của gió bão và động đất; các công trình cầu chịu tải trọng động di động, các công trình thủy chịu tác dụng động của sóng biển...

Tài liệu này sẽ trình bày các nội dung rất cơ bản của lí thuyết dao động công trình: Dao động hệ một bậc tự do; Dao động hệ hữu hạn bậc tự do; Dao động hệ vô hạn bậc tự do; Trên cơ sở đó có thể vận dụng để giải quyết các bài toán động lực học công trình trong thực tế với các hệ kết cấu khác nhau: Dầm, khung, dàn... chịu các tác dụng động khác nhau; Tài liệu cũng đề cập đến bài toán dao động của kết cấu khung cao tầng chịu tác dụng động đất. Ở tài liệu này, chủ yếu giải quyết các nội dung trong phạm vi của lí thuyết dao động tuyến tính; với bài toán dao động phi tuyến mới chỉ đề cập đến bài toán dao động đàn dẻo hệ một bậc tự do.

Tài liệu được biên soạn nhằm phục vụ cho các đối tượng đào tạo bậc đại học ngành xây dựng công trình, đồng thời đây cũng là tài liệu tham khảo cho các cán bộ kỹ thuật và các học viên cao học ngành công trình có liên quan.

Tuy có rất nhiều cố gắng trong biên soạn, nhưng khó tránh khỏi những thiếu sót, các tác giả rất mong nhận được sự góp ý của bạn đọc.

Tác giả chân thành cảm ơn Nhà xuất bản Xây dựng, các đồng nghiệp đã giúp đỡ để cuốn sách sớm ra mắt bạn đọc.

Các tác giả

MỞ ĐẦU

§1. NHIỆM VỤ CƠ BẢN CỦA BÀI TOÁN ĐỘNG LỰC HỌC CÔNG TRÌNH

Ở phần tĩnh học công trình của giáo trình Cơ học kết cấu, ta đã nghiên cứu các phương pháp tính toán công trình chịu tác dụng của tải trọng tĩnh. Trong thực tế, phần lớn các công trình xây dựng đều chịu tác dụng của tải trọng động.

Khái niệm về động lực học là khái niệm gắn liền với khái niệm về lực thay đổi theo thời gian; nghiên cứu động lực học công trình là nghiên cứu công trình chịu tác dụng của tải trọng thay đổi theo thời gian.

Nhiệm vụ cơ bản của bài toán động lực học công trình là xác định chuyển vị và nội lực trong kết cấu công trình khi công trình chịu tác dụng của tải trọng thay đổi theo thời gian: Trên cơ sở đó, sẽ xác định được các biến dạng và ứng suất cực đại để tính toán kiểm tra các công trình thực, đồng thời lựa chọn được kích thước kết cấu hợp lý đảm bảo biến dạng và ứng suất nhỏ để thiết kế các công trình mới, tránh các hiện tượng cộng hưởng.

Dưới tác dụng động của tải trọng thay đổi theo thời gian, hệ sẽ dao động và dao động đó được biểu thị dưới dạng chuyển vị của kết cấu. Do đó khi phân tích và giải quyết bài toán động lực học công trình sẽ cho phép xác định được sự thay đổi của chuyển vị theo thời gian tương ứng với quá trình thay đổi của tải trọng động. Các tham số khác như nội lực, ứng suất, biến dạng,... nói chung đều được xác định sau khi có sự phân bố chuyển vị của hệ. Tất cả các tham số đó đều là các hàm thay đổi theo biến thời gian phù hợp với tác dụng động bên ngoài. Tuy nhiên, đôi khi việc giải quyết bài toán động lực học công trình còn được tiến hành bằng việc đưa vào các hệ số động. Khi đó, nội lực chuyển vị và mọi tham số của hệ đều được tính toán thông qua hệ số động với các kết quả tính toán tĩnh. Tất cả các đại lượng đó đều là các giá trị cực đại ứng với một thời điểm xác định, không phải là các hàm theo biến thời gian.

§2. CÁC ĐẶC ĐIỂM CƠ BẢN CỦA BÀI TOÁN ĐỘNG LỰC HỌC CÔNG TRÌNH

Việc tính toán động lực học công trình khác với việc tính toán tĩnh học công trình ở những đặc điểm cơ bản dưới đây.

Trước hết, dưới tác dụng của tải trọng động thay đổi theo thời gian, trạng thái ứng suất biến dạng của hệ cũng sẽ biến đổi theo thời gian. Như vậy, bài toán động sẽ không có nghiệm duy nhất như bài toán tĩnh. Do đó, cần phải tìm sự liên tục của nghiệm tương ứng với mọi thời điểm thời gian biểu thị trạng thái thực của hệ. Chính vì thế mà việc tính toán động phức tạp và khó khăn hơn nhiều so với việc tính toán tĩnh.

Mặt khác, đặc điểm cơ bản của bài toán động được phân biệt rõ so với bài toán tĩnh ở chỗ: Ở bài toán tĩnh, dưới tác dụng của tải trọng tĩnh là tải trọng tác dụng chậm lên công trình, sự chuyển động của hệ là chậm và lực quán tính rất nhỏ có thể bỏ qua được. Ở bài toán động, tác dụng của tải trọng động lên công trình gây ra sự chuyển động của hệ với gia tốc lớn, và lực quán tính phụ thuộc vào gia tốc chuyển động (đạo hàm bậc hai của chuyển vị theo thời gian) là không thể bỏ qua được. Sự cần thiết phải kể đến lực quán tính là sự khác biệt cơ bản nhất của bài toán động lực học với bài toán tĩnh học.

Ngoài ra việc xét đến ảnh hưởng của lực cản cũng là một đặc điểm cơ bản phân biệt bài toán động với bài toán tĩnh. Bản chất của lực cản chuyển động (lực tắt dần) rất phức tạp và đa dạng. Vì vậy, việc tính lực cản phức tạp hơn so với tính lực quán tính. Trong tính toán, đôi khi không xét đến ảnh hưởng của lực cản, đôi khi lực cản được tính một cách gần đúng với những giả thiết phù hợp. Nhưng phải luôn thấy rằng lực cản luôn luôn có mặt và tham gia vào quá trình chuyển động của hệ.

§3. CÁC DẠNG TẢI TRỌNG ĐỘNG TÁC DỤNG LÊN CÔNG TRÌNH

Bất kì một kết cấu xây dựng nào trong quá trình sử dụng đều phải chịu tác dụng của tải trọng động ở dạng này hay dạng khác. Tải trọng động là tải trọng bất kì có độ lớn, phương, vị trí thay đổi theo thời gian. Tải trọng động tác dụng lên công trình rất đa dạng và phức tạp. Theo các đặc trưng của nó, tải trọng động với một quy luật bất kì nào đó được phân ra là tải trọng có chu kì và tải trọng không có chu kì.

1. Các tải trọng có chu kì

Tải trọng có chu kì là tải trọng lặp đi lặp lại theo thời gian qua các chu kì. Chu kì của tải trọng có thể là liên tục mà cũng có thể là gián đoạn. Nếu tải trọng tác dụng có quy luật hình sin hoặc cos với chu kì liên tục thì gọi là tải trọng điều hoà đơn giản, hay tải trọng rung động (hình M.1a). Tải trọng này phát sinh khi động cơ mô tơ có phần quay không cân bằng vì khối lượng đặt lệch tâm (hình M.1b). Mô tơ đặt trên hệ sẽ sinh ra lực quán tính li tâm:

$$P = Mr^2\rho \quad (M-1)$$

Trong đó:

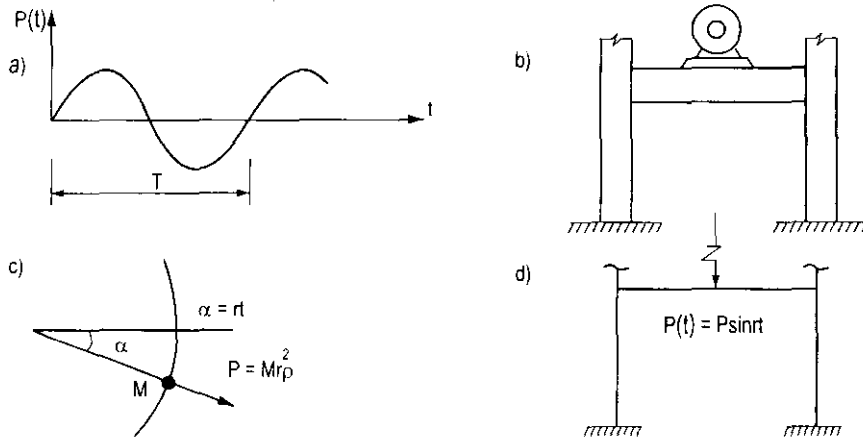
M - khối lượng phần quay;

ρ - độ lệch tâm;

r - vận tốc góc của mô tơ.

$$r = \frac{2\pi n}{60}, \quad (1/s) \quad (M-2)$$

n - số vòng quay trong 1 phút.

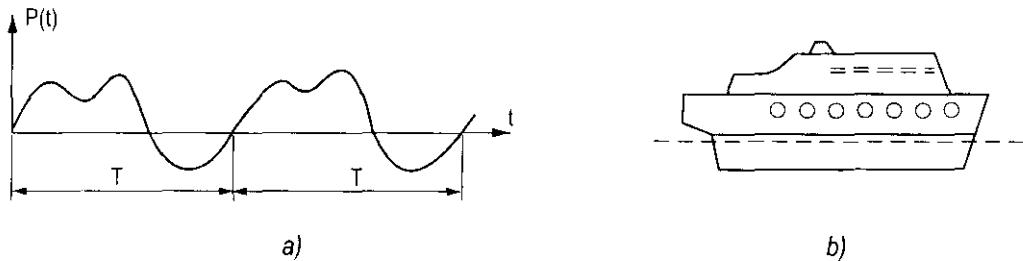


Hình M.1

Lực li tâm sẽ gây ra tải trọng động tác dụng lên hệ theo phương đứng và phương ngang. Tải trọng động tác dụng lên hệ theo phương đứng sẽ là:

$$P(t) = P \cdot \sin rt \quad (M-3)$$

Các dạng khác của tải trọng có chu kỳ thường phức tạp hơn. Sự phức tạp biểu hiện ở quy luật thay đổi của tải trọng trong mỗi chu trình (hình M.2a). Ví dụ như áp lực thủy động học do sự quay của cánh quạt tàu thủy (hình M.2b).

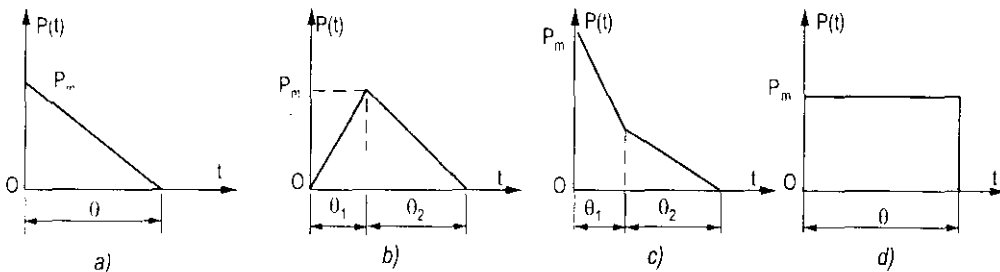


Hình M.2

2. Tải trọng không có chu kỳ

Tải trọng không có chu kỳ có thể là các loại tải trọng ngắn hạn và các tải trọng dài hạn dạng tổng quát:

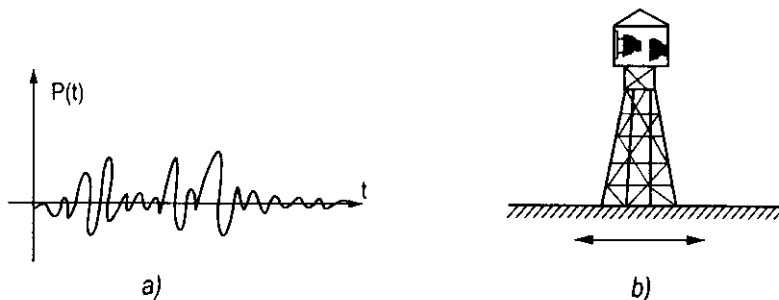
- *Tải trọng ngắn hạn:* Nguồn kích động đặc trưng của tải trọng ngắn hạn là các vụ nổ. Một số dạng tải trọng ngắn hạn cho ở hình M.3. Các dạng tải trọng hình M.3a, (M-3b) là dạng rất đặc trưng và thường gặp trong tính toán các công trình quân sự.



Hình M.3

Ở hình (M-3a) biểu thị áp lực của sóng va chạm (còn gọi là sóng xung kích) tác dụng vào công trình do các vụ nổ trong không khí. Sóng nổ sẽ truyền áp lực trực tiếp vào các công trình trên mặt đất, hoặc vào các mái công trình ngầm có chiều dày lớp đất lấp nhỏ. Đặc trưng của tải trọng này là tải trọng được tăng tức thời đến giá trị cực đại, sau đó giảm ngay theo quy luật tuyến tính. Ở hình (M-3b) biểu thị áp lực của sóng nén tác dụng vào các công trình vùi sâu trong đất do các vụ nổ trong đất gây ra. Sóng nổ sẽ truyền áp lực vào các mặt đáy và tường ngoài của công trình ngầm. Đặc trưng của tải trọng này là tải trọng được tăng nhanh theo quy luật tuyến tính đến giá trị cực đại, sau đó lại giảm cũng theo quy luật tuyến tính.

- *Tải trọng động dài hạn*: Tồn tại sau nhiều chu kỳ dao động, là dạng tải trọng thường gặp, thí dụ như tác dụng của động đất đối với các công trình xây dựng đều thuộc loại tải trọng này. Trên hình (M-4) mô tả sơ đồ tải trọng do các vụ động đất gây ra. Tải trọng động đất được đặc trưng bởi gia tốc ngang lớn và tương ứng xuất hiện lực quán tính ngang lớn.



Hình M.4

Ngoài ra còn có nhiều tải trọng động phức tạp như tải trọng gió bão, sự thay đổi đột ngột của nhiệt độ môi trường, tác dụng của sóng biển,... và các tải trọng ngẫu nhiên khác.

§4. PHÂN LOẠI DAO ĐỘNG

Tùy theo sự phân bố khối lượng trên hệ, cấu tạo và kích thước của hệ, tính chất của các loại tải trọng và các tác dụng động bên ngoài, ảnh hưởng và sự tương tác của môi trường dao động, cũng như sự làm việc của hệ v.v.. mà người ta có rất nhiều cách phân loại dao động khác nhau. Để thuận tiện cho việc phân tích dao động của các hệ, ta đưa ra một số cách phân loại sau:

1. Phân theo số bậc tự do của hệ dao động

Bậc tự do của hệ sẽ được xét ở phần dưới. Cách phân theo số bậc tự do đưa hệ về ba loại dao động sau:

- Dao động của hệ một bậc tự do;
- Dao động của hệ hữu hạn bậc tự do (≥ 2);
- Dao động của hệ vô hạn bậc tự do.

2. Phân theo tính chất và nguyên nhân gây ra dao động

- Dao động tự do: Là dao động sinh ra do chuyển vị và tốc độ ban đầu của hệ. Điều kiện ban đầu được tạo nên do tác động của các xung lực tức thời và tách hệ ra khỏi vị trí cân bằng, nói cách khác dao động tự do là dao động không có tải trọng động duy trì trên hệ.

- Dao động cưỡng bức: Là dao động sinh ra do các tải trọng động (đã xét ở §3 - mở đầu) và các tác dụng động bên ngoài khác. Dao động cưỡng bức bao gồm rất nhiều loại như: Dao động của hệ chịu tải trọng có chu kì, hệ chịu tải trọng ngắn hạn, hệ chịu tải trọng di động, của các công trình và nhà cao tầng chịu tác dụng của gió, của các công trình chịu tải trọng động đất xung nhiệt v.v...

3. Phân theo sự tồn tại của lực

- Dao động không tắt dần: Là dao động bỏ qua ảnh hưởng của lực cản.

- Dao động tắt dần: Là dao động có xét tới lực cản.

4. Phân theo kích thước và cấu tạo của hệ: Theo cách phân loại này, dao động của hệ sẽ bao gồm:

- Dao động của hệ thanh (dầm, dàn, vòm, khung...);

- Dao động của tấm;

- Dao động của vỏ;

- Dao động của các khối móng;

- Dao động của hệ treo;

- Dao động của các kết cấu công trình đặc biệt v.v...

5. Phân theo dạng phương trình vi phân mô tả dao động

- Dao động tuyến tính: Là dao động mà phương trình vi phân mô tả dao động là phương trình vi phân tuyến tính.

- Dao động phi tuyến: Là dao động mà phương trình vi phân mô tả dao động là phương trình vi phân phi tuyến.

§5. BẬC TỰ DO CỦA HỆ DAO ĐỘNG

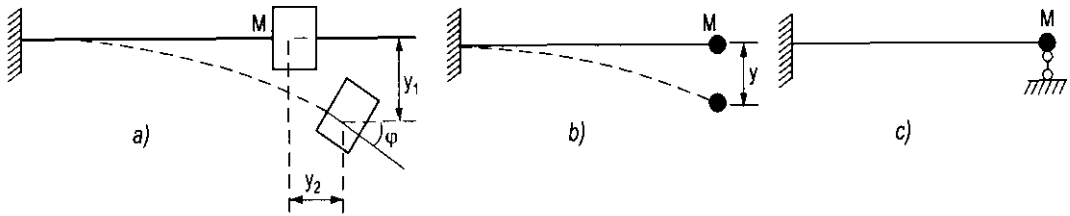
Bậc tự do của hệ dao động là số các tham số độc lập cần thiết để xác định đầy đủ vị trí của tất cả các khối lượng của hệ khi dao động.

Trước hết ta xét hệ với các khối lượng tập trung. Trong các hệ này có thể bỏ qua các lực quán tính của thanh và chỉ tính đến lực quán tính phát sinh do các khối lượng tập trung. Để tính bậc tự do, ta dùng các giả thiết sau:

- Coi các khối lượng tập trung của hệ là các chất điểm.

- Bỏ qua chiều dài co dãn do biến dạng uốn.

Xét ví dụ hệ cụ thể cho ở hình M.5. Hệ có một khối lượng tập trung.

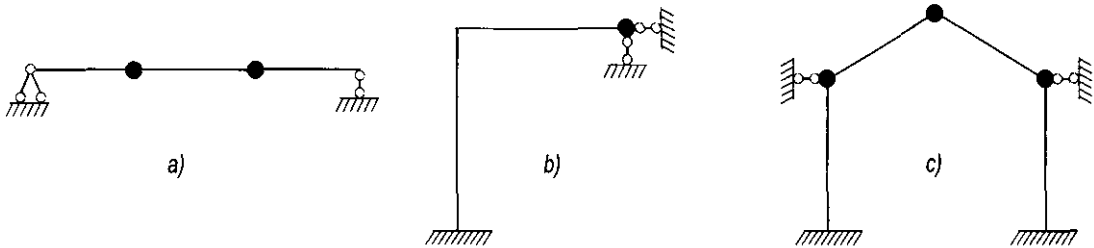


Hình M.5

Nếu không xét tới giả thiết trên, thì để xác định vị trí của khối lượng M cần phải có đủ 3 tham số là y_1 , y_2 và φ . Vậy hệ sẽ có 3 bậc tự do. Với các giả thiết trên, để xác định vị trí của khối lượng M thì chỉ cần một tham số là y (hình M.5b). Vậy hệ chỉ có một bậc tự do.

Ta có thể xác định số bậc tự do bằng cách: Đặt vào các khối lượng của hệ các liên kết loại một vừa đủ để sao cho tất cả các khối lượng của hệ trở thành bất động, xem (hình M.5b).

Chú ý: Số bậc tự do của hệ dao động có thể nhỏ hơn, bằng, hoặc lớn hơn số khối lượng của hệ. Điều này dễ dàng được minh họa trên hình M.6.



Hình M.6

Ở hệ hình M.6a số bậc tự do bằng số khối lượng tập trung và bằng 2. Ở hệ hình (M.6b) có một khối lượng, nhưng lại có 2 bậc tự do. Ở hệ hình M.6c có 3 khối lượng, nhưng chỉ có 2 bậc tự do.

Ta xét hệ thanh với khối lượng phân bố. Ở hệ này ta không được phép bỏ qua lực quán tính của thanh và như vậy hệ sẽ có số bậc tự do là vô cùng. Để tính toán các hệ có khối lượng phân bố, cần phải thiết lập và giải hệ phương trình vi phân với các đạo hàm riêng, bởi vì trong trường hợp này lực quán tính phụ thuộc vào cả tọa độ và cả thời gian.

Số bậc tự do của hệ có thể được xem xét trên cơ sở việc rời rạc hoá hệ có khối lượng phân bố liên tục là hệ vô hạn bậc tự do về hệ hữu hạn bậc tự do. Việc rời rạc hoá có thể được tiến hành bằng cách tập trung khối lượng, hay chia phần tử.

§6. CÁC PHƯƠNG PHÁP XÂY DỰNG PHƯƠNG TRÌNH CHUYỂN ĐỘNG

Như đã biết, nhiệm vụ cơ bản của bài toán động lực học công trình là xác định sự thay đổi của chuyển vị theo thời gian của một hệ đã cho dưới tác dụng của tải trọng động. Các biểu thức toán học để xác định các chuyển vị động được gọi là các phương trình chuyển động của hệ. Nó được biểu thị ở dạng các phương trình vi phân, và phản ánh đặc trưng dao động của hệ. Giải các phương trình chuyển động đó ta sẽ xác định được các hàm chuyển vị cần tìm theo thời gian.

Việc thiết lập và đưa ra được phương trình vi phân chuyển động của hệ là giai đoạn quan trọng nhất trong tất cả sự phân tích dao động của bất kì một hệ nào. Phương trình vi phân chuyển động của hệ có thể được xây dựng trên cơ sở phương pháp tĩnh hoặc dựa trên các nguyên lí biến phân năng lượng. Dưới đây sẽ trình bày một số phương pháp sau:

1. Phương pháp tĩnh động (phương pháp áp dụng nguyên lí Đalambé)

Phương pháp tĩnh động là phương pháp áp dụng nguyên lí Đalambé đối với bài toán động lực học công trình. Nó dựa vào điều kiện xét cân bằng lực của phần tĩnh học trong đó có bổ sung thêm các lực quán tính đặt vào các khối lượng.

Như vậy, trên cơ sở nguyên lí Đalambé, để tìm phương trình vi phân chuyển động của các khối lượng trên hệ, ta chỉ việc viết các phương trình cân bằng lực của các khối lượng có kể đến các lực quán tính của chúng.

Các lực quán tính của các khối lượng được viết một cách tổng quát như sau:

$$\begin{aligned}F_{x,q} &= -M \frac{d^2 X(t)}{dt^2} = -M\ddot{X}(t) \\ F_{y,q} &= -M \frac{d^2 Y(t)}{dt^2} = -M\ddot{Y}(t) \\ J_{u,q} &= -J_0(u) \frac{d^2 \alpha_u(t)}{dt^2} = -J_0(t) \ddot{\alpha}_u(t)\end{aligned}\tag{M-4}$$

Trong đó: M - khối lượng tập trung của hệ;

X(t), Y(t) - chuyển vị tịnh tiến của khối lượng M theo phương của trục x và y;

$\alpha_u(t)$ - chuyển vị xoay của khối lượng M quanh trục u là trục vuông góc với mặt phẳng xoy;

$F_{x,q}$, $F_{y,q}$, $J_{u,q}$ - các lực quán tính của khối lượng M tương ứng với các chuyển vị tịnh tiến theo phương x, y và chuyển vị xoay quanh trục u;

$J_0(u) = \int_M \rho_u^2 dm$ - mômen quán tính của khối lượng M với trục u, ρ_u là khoảng cách từ phần tử khối lượng dm đến trục u.