

**TCVN**

**TIÊU CHUẨN QUỐC GIA**

**TCVN 7191: 2002**

**ISO 4866: 1990**

sửa đổi 1: 1994

sửa đổi 2: 1996

**RUNG ĐỘNG VÀ CHẤN ĐỘNG CƠ HỌC –  
RUNG ĐỘNG ĐỐI VỚI CÁC CÔNG TRÌNH XÂY DỰNG –  
HƯỚNG DẪN ĐO RUNG ĐỘNG VÀ ĐÁNH GIÁ ẢNH  
HƯỞNG CỦA CHÚNG ĐẾN CÁC CÔNG TRÌNH XÂY DỰNG**

*Mechanical vibration and shock – Vibration of buildings – Guidelines for the  
measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings*

**HÀ NỘI – 2008**



## Lời nói đầu

TCVN 7191 : 2002 hoàn toàn tương đương với ISO 4866 : 1990 và các sửa đổi 1: 1994, sửa đổi 2: 1996.

TCVN 7191 : 2002 do Tiểu ban kỹ thuật Tiêu chuẩn TCVN/TC43/SC1 *Rung động và va chạm* biên soạn, Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng đề nghị, Bộ Khoa học và Công nghệ ban hành.

Tiêu chuẩn này được chuyển đổi năm 2008 từ Tiêu chuẩn Việt Nam cùng số hiệu thành Tiêu chuẩn Quốc gia theo quy định tại khoản 1 Điều 69 của Luật Tiêu chuẩn và Quy chuẩn kỹ thuật và điểm a khoản 1 Điều 6 Nghị định số 127/2007/NĐ-CP ngày 1/8/2007 của Chính phủ quy định chi tiết thi hành một số điều của Luật Tiêu chuẩn và Quy chuẩn kỹ thuật.

## **Lời giới thiệu**

Ngày càng thừa nhận rằng các công trình xây dựng phải bền vững với rung động, và việc thừa nhận này vừa cần cho cả công tác thiết kế đối với tính toàn vẹn của kết cấu, độ tin cậy trong sử dụng và tính chấp nhận được về mặt môi trường và cả cho việc bảo tồn các công trình xây dựng có tính lịch sử.

Phép đo rung trong các công trình xây dựng được tiến hành vì các mục đích khác nhau.

### **- Để nhận biết sự phiền toái**

Khi được báo cáo về các công trình xây dựng đang bị rung ở mức độ gây lo lắng đến các cư dân, thì lúc đó có thể cần thiết lập hay không thiết lập ra mức rung cảnh báo về tổng thể của kết cấu xây dựng

### **- Để giám sát, kiểm soát**

Khi mức rung tối đa cho phép đã được các cơ quan có thẩm quyền thiết lập và các rung động này phải được đo và báo cáo

### **- Để lập tài liệu**

Khi tải trọng động lực học được thừa nhận trong thiết kế và các phép đo được tiến hành để kiểm tra xác nhận dự báo phản ứng và đưa ra các thông số thiết kế mới. Điều này có thể sử dụng môi trường xung quanh hoặc tải trọng phải chịu. Máy ghi địa chấn cực nhạy là một ví dụ, có thể được lắp đặt sao cho dù chúng có chỉ ra hoặc chỉ ra rằng những phản ứng với động đất cảnh báo về việc sẽ có những thay đổi tiến trình hoạt động trong kết cấu của công trình xây dựng.

### **- Để chẩn đoán**

Khi xác định rằng mức rung cần có sự điều tra thêm, thì phép đo rung được tiến hành để cung cấp thông tin cho phương pháp làm giảm thiểu rung động của công trình xây dựng.

Quy trình chẩn đoán khác là sử dụng phản ứng của các công trình xây dựng đến môi trường xung quanh hoặc tải trọng phải chịu để thiết lập điều kiện xây dựng, ví dụ: sau một tải trọng khắc nghiệt như động đất.

Các mục đích đa dạng như vậy yêu cầu một loạt hệ thống đo khác nhau từ đơn giản đến phức tạp, dàn trải cho các dạng điều tra khác nhau (xem 9.2).

Nhiều bên quan tâm cần đến hướng dẫn kỹ thuật về cách thức phù hợp nhất cho tiến hành phép đo, đặc tính hoá và đánh giá các rung động ảnh hưởng đến công trình xây dựng. Điều này áp dụng cả cho các công trình xây dựng đang tồn tại mà có thể chịu một số nguồn gây rung mới hoặc thay đổi và cả cho thiết kế các công trình xây dựng được xây cất trong môi trường mà có thể tác động đáng kể đến các công trình này.

Hiệu ứng rung cũng có thể được xét đến bằng tính toán (xem 9.1).

Mặc dù số liệu sử dụng trong tiêu chuẩn này có thể sử dụng trong việc đánh giá tính khắc nghiệt tương đối của rung động, nhưng điều này không được coi như đề xuất của tiêu chuẩn này về mức rung chấp nhận hoặc không chấp nhận. Các cơ quan quản lý quốc gia cũng không nên xem xét đến các khía cạnh kinh tế và xã hội đã được tiêu chuẩn này đề cập đến.

# Rung động và chấn động cơ học - Rung động đối với các công trình xây dựng - Hướng dẫn đo rung động và đánh giá ảnh hưởng của chúng đến các công trình xây dựng

*Mechanical vibration and shock – Vibration of buildings – Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings*

## 1 Phạm vi áp dụng

Tiêu chuẩn này thiết lập các nguyên tắc cơ bản để tiến hành đo rung động và xử lý các số liệu trong đánh giá ảnh hưởng của rung động đến các công trình xây dựng. Tiêu chuẩn này không bao gồm việc đánh giá nguồn kích động ngoại trừ trong chừng mực nguồn có dải động lực học, tần số hoặc các thông số khác. Đánh giá ảnh hưởng của rung động của công trình xây dựng kết cấu, trước hết hướng vào phản ứng về kết cấu và bao gồm các phương pháp phân tích thích hợp sao cho có thể xác định được tần số, khoảng thời gian tác dụng và biên độ. Tiêu chuẩn này chỉ đề cập đến đo rung động của kết cấu, và không đề cập đến áp suất âm truyền theo đường không khí và các dao động áp suất khác, mặc dù phản ứng đối với những kích động đó được xem xét đến.

Tiêu chuẩn này chỉ áp dụng cho các công trình xây dựng trên mặt đất trong đó thường xuyên có người ở. Tiêu chuẩn này không xem xét đến bất kỳ kết cấu xây dựng nào trong nhà máy như ống khói, cột trụ, tường, dù rằng ở đó thỉnh thoảng có người đến làm việc.

Phản ứng của kết cấu công trình xây dựng khi chịu tác động phụ thuộc vào nguồn kích động. Vì vậy, ở phần cuối tiêu chuẩn này xem xét các phương pháp đo bị ảnh hưởng bởi tần số, thời gian, và biên độ do bất kỳ nguồn nào như động đất, nổ, gió, xung âm thanh, máy móc đặt bên trong, giao thông, các hoạt động xây dựng, vv ... gây ra.

Chú thích 1 - Giữa động đất và rung động do con người gây ra có sự khác nhau và sẽ ảnh hưởng đến những điều kiện đo. Nguồn rung động phá huỷ do động đất thường xảy ra ở diện rộng và độ sâu hơn so với hầu hết các nguồn rung động nhân tạo. Chúng có năng lượng lớn, khoảng thời gian dài, dạng truyền sóng khác và có

## TCVN 7191 : 2002

thể gây hư hại trên phạm vi lớn. Do đó, với cùng giá trị của một thông số (như vận tốc hạt đỉnh), nhưng những ảnh hưởng lên các công trình xây dựng lại khác nhau.

## 2 Tiêu chuẩn viện dẫn

ISO 2041:1975, Vibration and shock – Vocabulary (Rung động và chấn động - Từ vựng).

TCVN 6964-2: 2002 (ISO 2631-2: 1989) Đánh giá sự tiếp xúc của con người đối với rung động toàn thân. Phần 2: Rung động liên tục và rung động do chấn động gây ra trong công trình xây dựng (từ 1 Hz đến 80 Hz).

ISO 4356:1977, Bases for design of structures – Deformations of building at the serviceability limit states. (Nguyên tắc cơ bản đối với thiết kế kết cấu - Sự biến dạng của công trình xây dựng tại các trạng thái giới hạn của độ tin cậy trong sử dụng).

ISO 5348:1987, Mechanical vibration and shock – Mechanical mounting of accelerometers. (Rung động và chấn động cơ học - Khung cơ học của máy đo gia tốc).

IEC 68-2-27:1987, Environmental testing – Part 2: Test – Test Ea and Guidance: Shock. (Thử nghiệm môi trường - Phần 2: Phép thử Ea và hướng dẫn: Chấn động)

## 3 Xem xét các yếu tố liên quan đến nguồn

### 3.1 Các đặc tính của phản ứng rung động trong công trình xây dựng

Có thể phân loại các dạng rung động thành:

- a) loại đã xác định;
- b) loại ngẫu nhiên.

phân loại chi tiết hơn được trình bày ở 8.2.

Đối với mỗi loại rung động, cần có lượng thông tin tối thiểu sao cho có thể đưa ra định nghĩa đầy đủ về loại rung động này (xem trong ISO 2041.)<sup>[1]</sup>

### 3.2 Khoảng thời gian

Khoảng thời gian tác động của lực kích động động học là một thông số quan trọng. Trong tiêu chuẩn này, phản ứng với rung động có thể được xem là liên tục hoặc ngắn và loại phản ứng sẽ được tính toán bằng mối quan hệ giữa hằng số thời gian liên quan tới phản ứng của kết cấu với hàm số cưỡng bức.

Hằng số thời gian của phản ứng cộng hưởng khi cộng hưởng,  $r$ , tính bằng giây,  $\tau_r$ , được tính theo công thức sau:

$$\tau_r = \frac{1}{2\pi\xi_r f_r}$$

trong đó

$\xi_r$ , thể hiện ảnh hưởng của sự suy giảm và phụ thuộc vào loại kích động (tuyến tính hay phi tuyến);

$f_r$ , tần số cộng hưởng.

Do vậy, có hai trường hợp được xác định (không phụ thuộc vào nguồn kích động là đã xác định hay ngẫu nhiên):

**- liên tục:**

Nếu hàm cường độ tác động lên kết cấu liên tục trong thời gian lớn hơn  $5 \tau_r$  thì rung động đó được xem là liên tục.

**- gián đoạn:**

Nếu hàm cường độ tồn tại trong thời gian nhỏ hơn  $5 \tau_r$  thì rung động này được xem là gián đoạn.

Vì hàm cường độ xuất hiện một cách tự nhiên và thường không được đặc trưng rõ nên có thể là các phản ứng không thuộc vào một loại cụ thể nào. Ví dụ, sự nổ mìn chỉ xảy ra trong khoảng thời gian ngắn nhưng vẫn phải coi là rung động gián đoạn.

### 3.3 Tần số và dải cường độ rung động

Dải tần số của rung động cần xem xét phụ thuộc vào sự phân bố phổ trong dải tần số của nguồn kích động và vào phản ứng cơ học của công trình xây dựng. Điều này xác định chính xác phổ tần số của nguồn kích động là tính chất quan trọng nhất của đầu vào rung động. Để đơn giản, tiêu chuẩn này chỉ đề cập đến dải tần số từ 0,1 Hz đến 500 Hz; dải tần số này bao trùm phản ứng của các công trình khi ở những trạng thái khác nhau và của các kết cấu xây dựng bị kích động do các nguyên nhân tự nhiên (như gió và động đất) và nhân tạo (như hoạt động trong xây dựng, nổ mìn hay do giao thông). Thiết bị đo rung có thể cần tần số cao hơn mới ghi lại được.

Phần lớn hư hại của công trình xây dựng là do các nguồn dao động nhân tạo gây ra ở dải tần số từ 1 Hz đến 150 Hz. Các nguồn dao động tự nhiên như động đất, thường có năng lượng ở tần số thấp trong khoảng từ 0,1 Hz đến 30 Hz tại các cường độ gây hại. Kích động của gió thường có năng lượng đáng kể trong dải tần số từ 0,1 Hz đến 2 Hz.

Các mức rung động của dải tần số quan tâm có giá trị từ vài milimét trên giây đến vài trăm milimét trên giây tùy thuộc vào tần số.

## 4 Các yếu tố liên quan đến công trình xây dựng cần xem xét

Phản ứng của công trình xây dựng và các kết cấu nhà đối với kích động động lực học phụ thuộc vào các đặc tính phản ứng (như tần số riêng, hình dáng và đặc tính giảm rung) cũng như đặc tính phổ tần

## **TCVN 7191 : 2002**

số của lực tác dụng. Phải xem xét các tác động tích lũy, đặc biệt ở trường hợp mức phản ứng cao và thời gian tác dụng lâu dài khi sự phá huỷ do mỏi có khả năng xảy ra.

### **4.1 Loại và tình trạng của công trình xây dựng**

Để mô tả một cách đầy đủ và phân loại các tác động nhìn thấy được do rung động và các kết quả đo bằng thiết bị, cần phải phân loại các công trình xây dựng (CTXD) như đã nêu trong điều 1. Trong tiêu chuẩn này, phân loại CTXD được trình bày ở Phụ lục A.

### **4.2 Tần số tự nhiên và tắt chấn**

Các tần số tự nhiên cơ bản của một CTXD hoặc của các phần của tòa nhà ảnh hưởng đến phản ứng của chúng và cần phải biết để cho phép áp dụng một số phương pháp đánh giá rung động. Điều này có thể thực hiện được bằng phép phân tích phổ theo đặc tính mức thấp đối với kích động bao quanh hoặc bằng cách sử dụng các bộ tạo rung.<sup>[2]</sup>

Khi việc phân tích phản ứng đầy đủ không được thực hiện và việc đánh giá sự trầm trọng của rung động tiềm tàng là cần thiết thì có thể sử dụng các biểu thức thực nghiệm liên quan giữa chiều cao của công trình xây dựng với chu kỳ cơ bản.<sup>[3], [4], [5]</sup>

Các nghiên cứu thực nghiệm<sup>[6]</sup> cho biết dải tần số trượt cơ bản của các CTXD cao từ 3 m đến 12 m là từ 4 Hz đến 15 Hz. Tính tắt chấn thường phụ thuộc vào biên độ. Tần số tự nhiên và tính tắt chấn của các kết cấu tĩnh được trình bày trong phụ lục của tiêu chuẩn này.

### **4.3 Các kích thước nền móng của công trình xây dựng**

Các rung động truyền qua đất có chiều dài bước sóng từ vài mét đến vài trăm mét. Các rung động có bước sóng ngắn hơn thì phức tạp và kết cấu móng có thể đóng vai trò như một bộ lọc. Các CTXD dân dụng nhỏ hơn thường có các kích thước nền móng nhỏ hơn bước sóng đặc trưng của tất cả các nguồn có tần số cao nhất (ví dụ như nổ mìn trong đá).

### **4.4 Ảnh hưởng của đất**

Khi nghiên cứu động đất, cần tính đến ảnh hưởng của địa tầng.<sup>[3]</sup>

Việc đánh giá tác động lẫn nhau đôi khi được chứng minh cho những rung động do con người gây ra; việc đánh giá như vậy đòi hỏi phải xác định vận tốc sóng trượt hoặc mô đun trượt động lực học trong một khối đất phù hợp. Có thể tìm và tham khảo các phương pháp thực nghiệm, số hóa và qui trình phân tích từ một số nguồn tài liệu<sup>[7]</sup>.

Móng nhà được xây trên nền đất yếu và dày có thể bị lún hoặc mất khả năng chịu tải do rung động của đất. Nguy cơ của những tác động này là một hàm số phụ thuộc vào kích cỡ hạt trong đất, tính đồng nhất của chúng, độ nén<sup>1)</sup>, độ bão hòa, tình trạng ứng suất trong cũng như giá trị gia tốc đỉnh theo các phương và thời gian thí nghiệm rung động của đất. Tính tơi xốp, không kết dính, cát bão hòa là đặc biệt

---

<sup>1)</sup> Độ nén của đất có thể được kiểm tra bằng sự phân lớp chính xác



yếu và trong những hoàn cảnh đặc biệt đó có thể xử lý ở thể lỏng. Hiện tượng này cần xem xét khi đánh giá rung động và giải thích về các tác động của chúng.<sup>[8], [9]</sup> (Xem Phụ lục A)

## 5 Đại lượng được đo

Đặc trưng cả bản chất của rung động và phản ứng có thể bị ảnh hưởng bởi tính đa dạng của sự chuyển dịch, vận tốc hoặc gia tốc. Những thông số này có thể cung cấp một số liệu như là hàm số theo thời gian. Đó là thực hành thường dùng để định một đại lượng động lực học vận tốc hoặc gia tốc. Từ hiểu biết về hàm chuyển đổi thích hợp, mỗi đại lượng này có thể được tính từ đại lượng kia bằng phép tích phân hay vi phân. Phép tích phân ở tần số thấp cần sự thận trọng và độ tin cậy theo đường đặc tính pha-biên độ của đầu đo và hệ thống thiết bị đo (xem điều 6). Theo yêu cầu về thu thập, xử lý và trình bày số liệu (xem điều 6) có thể dùng đầu đo tương ứng với đại lượng được chọn. Kinh nghiệm cho biết đối với các hoàn cảnh khác nhau sẽ có các đại lượng đo ưu tiên (xem Bảng 1).

## 6 Thiết bị đo

### 6.1 Yêu cầu chung

Đo rung động là nhằm có dữ liệu để sử dụng vào qui trình đánh giá hoặc chẩn đoán hoặc để quan trắc rung theo các mục đích đã định. Để đánh giá, tính năng tối thiểu của thiết bị đo phải thoả mãn các yêu cầu nêu ở điều 3, điều 7 và phương pháp đánh giá nêu ở điều 9.

Không thể có một hệ thống thiết bị riêng lẻ nào đáp ứng được tất cả các yêu cầu về tần số và dải động lực học đối với các kết cấu và đầu vào đa dạng để áp dụng tiêu chuẩn này.

Hệ thống đo gồm có các thiết bị sau:

- đầu đo (xem 6.2);
- thiết bị điều hoà tín hiệu;
- hệ thống ghi các số liệu đo.

Cần định rõ các đặc tính tần số phản ứng (biên độ và pha) cho hệ thống đo hoàn chỉnh khi nối cùng với nhau theo cách được dùng.

Mức độ mà chuyển động được đo cần tiếp cận với chuyển động thực sẽ phụ thuộc vào tính chất khảo sát và phương pháp đánh giá sử dụng.

Yêu cầu tối thiểu cho 9.2.2 và 9.2.3 là rung động phải được đặc trưng bởi phép đo liên tục các giá trị vận tốc đỉnh.

Yêu cầu tối thiểu cho 9.2.4 là khoảng thời gian của rung động phải được ghi lại trong một khoảng đủ lớn và độ chính xác đủ để thiết lập các đặc tính phổ. Các phương pháp tương tự hay số đều có thể dùng theo qui định trong điều này.

## **TCVN 7191 : 2002**

### **6.2 Chọn đầu đo**

Lựa chọn đầu đo là một yêu cầu quan trọng để đánh giá đúng chuyển động rung. Nói chung, đầu đo có thể chia làm hai nhóm, nhóm tạo tín hiệu ra tuyến tính hoặc ở trên hoặc dưới tần số cộng hưởng tự nhiên của cơ chế cảm biến của đầu đo. Loại đầu đo “cảm biến vận tốc” hoặc “chấn âm” là loại cảm biến điện từ để đo rung động kết cấu, hoạt động ở tần số cao hơn tần số cộng hưởng tự nhiên được sử dụng rộng rãi; loại đầu đo gia tốc áp điện thường hoạt động ở tần số thấp hơn tần số cộng hưởng. Kiểu cảm biến điện từ làm việc ở tần số thấp hơn tần số tự nhiên và được dùng chủ yếu trong các máy ghi các chấn động mạnh.

Trong thực tế, khi dùng đầu đo kiểu “cảm biến vận tốc” cần lưu ý thông số pha ở vùng tần số thấp. Nếu cả hai đáp tuyến về biên độ và pha ở giá trị tới hạn thì đặc tính tuyến tính của toàn dải đo phải được đảm bảo. Ở giới hạn tần số thấp nhỏ hơn mười lần tần số cần đo thấp nhất thì tín hiệu đo được phải lớn hơn mức ồn nền là 5 dB.

Các cảm biến vận tốc tạo ra tín hiệu tương đối cao vì thế làm đơn giản chuỗi thiết bị. Nếu cần đánh giá vận tốc hạt thì tín hiệu ra của đầu đo gia tốc áp điện phải lấy tích phân và phép biến đổi này cần kiểm tra đặc tính của cả hệ thống thiết bị.

### **6.3 Tỷ lệ nhiễu so với tín hiệu**

Tỷ lệ nhiễu so với tín hiệu thường phải nhỏ hơn 5 dB. Nếu tỷ lệ nhiễu so với tín hiệu trong khoảng từ 5 dB đến 10 dB, thì giá trị đo phải được hiệu chỉnh (tức là tăng lên) và phương pháp hiệu chỉnh cần viết trong báo cáo. Nhiễu nên được định nghĩa là tổng của mọi tín hiệu xuất hiện mà không phải do các đối tượng khảo sát sinh ra.

**Bảng 1 - Dải điển hình của phản ứng của kết cấu đối với các nguồn khác nhau**

Loại rung động do các nguồn	Dải tần số Hz	Dải biên độ $\mu\text{m}$	Dải vận tốc mm/s	Dải gia tốc $\text{m/s}^2$	Đặc tính thời gian	Đại lượng đo
<b>Giao thông</b> đường bộ, đường sắt, truyền trong đất	1 - 80	1 - 200	0,2 - 50	0,2 - 50	C/T	pvth
<b>Rung động do nổ</b> truyền theo mặt đất	1 - 300	100-2500	0,2- 500	0,02- 50	T	Pvth
<b>Đóng cọc</b> truyền theo mặt đất	1 - 100	10 - 50	0,2 - 50	0,02 - 2	T	pvth
<b>Thiết bị ở bên ngoài</b> truyền theo mặt đất	1 - 300	10-1000	0,2 - 50	0,02 - 1	C/T	pvth/ath
<b>Âm</b> giao thông, thiết bị ở bên ngoài	10 - 250	1 - 1100	0,2 - 30	0,02 - 1	C	pvth/ath
<b>Không khí quá áp suất</b>	1 - 40				T	pvth
<b>Thiết bị ở bên trong</b>	1-1000	1 - 100	0,2 - 30	0,02 - 1	C/T	pvth/ath
<b>Hoạt động của con người</b> a) va chạm b) trực tiếp	0,1- 100 0,1 - 12	100-500 100-5000	0,2 - 20 0,2 - 5	0,02 - 5 0,02-0,2	T T	pvth/ath
<b>Động đất</b>	0,1 - 30	10 - $10^5$	0,2- 400	0,02-20	T	pvth/ath
<b>Gió</b>	0,1 - 10	10 - $10^5$			T	Ath
<b>Âm ở bên trong</b>	5 - 500					

**Chú thích**

C = liên tục (các loại đã đơn giản hoá, xem 3.1 và 3.2)

T = tức thời

pvth : vận tốc dao động hạt

ath : gia tốc

**Chú thích**

1) Các dải ở trên là cực trị nhưng có các giá trị có thể đo được thực tế. Các dải cực trị biên độ của độ dịch chuyển và của tần số không lấy từ vận tốc và gia tốc hạt.

2) Dải tần số ở trên liên quan đến đáp ứng của tòa nhà và các kết cấu nhà do loại kích thích đặc thù. Điều đó chỉ có tính biểu thị.

3) Các giá trị rung động trong các dải đã nêu có thể gây nên các lo âu. Không có tiêu chuẩn nào bao trùm các loại

nhà, tình trạng nhà và thời gian tác dụng, nhưng có nhiều qui phạm quốc gia qui định ngưỡng của các tác động của các vận tốc hạt đỉnh tại các móng nhà có giá trị trên vài milimét trên giây. Xác suất các hư hại đáng kể liên quan đến vận tốc hạt đỉnh có giá trị vài trăm milimét trên giây. Các mức rung động thấp hơn ngưỡng cảm nhận con người (xem TCVN 6964-2) có thể liên quan đến sự khéo léo và phương pháp công nghiệp.

## **7 Vị trí và cách gắn đầu đo**

### **7.1 Vị trí đo**

#### **7.1.1 Khái quát**

Đặc trưng riêng về rung động của một công trình xây dựng đòi hỏi một số điểm đo, số lượng này phụ thuộc vào kích thước và độ phức tạp của công trình xây dựng, tòa nhà.

Để xác định ảnh hưởng của rung động, nên chọn vị trí đo tại móng nhà. Nếu không thể đo trên móng nhà thì chọn điểm đo điển hình trên tường ngoài chịu lực chính ở độ cao sàn tầng trệt.

Việc đo rung động do giao thông, đóng cọc hay nổ mìn sinh ra, đặc biệt ở các khoảng cách xa cho thấy rung động có thể được khuếch đại bên trong công trình và tỷ lệ với chiều cao nhà. Do đó cần tiến hành đo đồng thời tại vài điểm trong công trình xây dựng. Đo đồng thời trên móng và nền đất bên ngoài nhà thì sẽ thiết lập được hàm truyền.

Đối với tòa nhà cao hơn 4 tầng ( $\approx 12$  m) thì phải có các điểm đo thêm ở mỗi tầng và ở sàn cao nhất của tòa nhà.

Đối với tòa nhà dài hơn 10 m thì phải đặt các vị trí đo theo phương nằm ngang, cách nhau khoảng 10 m.

Theo yêu cầu của cư dân và do quan sát ban đầu, có thể phải thực hiện các điểm đo bổ xung.

Để nghiên cứu các kiểu phân tích, việc chọn các vị trí đo tùy thuộc vào dạng biến dạng. Phần lớn các trường hợp thực tế, do giới hạn về kinh tế nên phải đồng nhất các dạng cơ bản và đo các đặc tính tối đa trong toàn kết cấu cùng với việc quan sát các thành phần như sàn, tường và cửa sổ.

#### **7.1.2 Đo bên trong công trình xây dựng**

Việc gắn đầu đo trong CTXD phụ thuộc vào đáp ứng rung động cần quan tâm. Như đã mô tả trong 7.1.1, để đánh giá rung động do các nguồn truyền trong đất tác động lên tòa nhà thì tốt nhất thực hiện các phép đo trên hoặc gần móng nhà. Việc xác định độ dịch chuyển của kết cấu hoặc biến dạng trượt của tòa nhà cần có các phép đo trực tiếp trên các thành phần chịu lực mà tạo nên độ cứng của kết cấu. Thường là phép đo theo ba phương ở các góc, mặc dù có thể bố trí các vị trí khác.

Đôi khi sự dao động của sàn hoặc tường có liên quan đến biên độ cực đại của các vị trí ở giữa kết cấu. Mặc dù đôi khi rất khắc nghiệt, nhưng những dao động này thường không liên quan đến toàn bộ kết cấu <sup>[11]</sup>.

Việc khảo sát gắn với các nguồn bên trong tòa nhà thường gồm một giai đoạn thăm dò theo phương pháp thử và sai.

Trong trường hợp phép đo liên quan đến thiết bị sẽ được chế tạo, như khi kiểm tra máy tính, rơ le và của các thiết bị khác để bị ảnh hưởng do rung động thì phép đo phải phản ánh được cả tình hình rung động

ở đây. Điểm đo phải đặt bên trên móng hoặc tại móng hay trên khung thiết bị. Trong trường hợp này, nếu cần, nên tắt thiết bị khi đo.

Trong trường hợp phép đo liên quan đến rung động truyền theo mặt đất, như đang nghiên cứu các nguồn rung động truyền trong đất, thì thông thường hướng đầu đo theo hướng nối giữa nguồn và đầu đo. Khi nghiên cứu đặc tính kết cấu do ảnh hưởng của rung động truyền theo mặt đất, trong thực tế hướng về các trục chính và phụ của kết cấu. Thông thường, nếu không thể đo trên móng nhà thì phải gắn đầu đo trên mặt đất.

Đo rung động ở trên hoặc ở dưới mặt đất có thể bị ảnh hưởng do sự biến đổi của biên độ sóng mặt theo độ sâu. Móng nhà có thể chịu tác động của những chuyển động khác nhau phụ thuộc vào chiều dài bước sóng, độ sâu móng và điều kiện địa chất.

Đối với rung động do gió thì có thể bỏ qua thành phần thẳng đứng và bố trí thiết bị đo kiểm tra có dao động quay và tịnh tiến.

## 7.2 Gắn đầu đo

### 7.2.1 Gắn lên kết cấu

Việc gắn đầu đo rung động lên các bộ phận rung động hoặc trong đất phải tuân theo ISO 5348, về đầu đo gia tốc. Mục đích là để phản ánh trung thực các dao động tại đó mà không có phản ứng bổ sung. Cần cẩn thận để tránh lung lay hoặc bị uốn cong khi lắp đặt theo 3 hướng.

Khối lượng đầu đo và máy đo kiểm tra (nếu có) không lớn hơn 10 % kết cấu xây dựng nơi gắn đầu đo. Việc gắn đầu đo càng nhẹ, và càng chắc chắn càng tốt.

Tránh các điểm đo trên công son. Tốt nhất là gắn 3 đầu đo loại một hướng đo vào 3 mặt của một khối lập phương kim loại được gắn bằng vít cấy hoặc bằng keo dính nhanh. Có thể gắn chắc đầu đo trên các kết cấu nhà bằng bu lông nở. Khi đo trên các kết cấu bê tông nhẹ, thì dùng thạch cao để kết dính.

Trong các trường hợp đặc biệt, cho phép dùng keo hoặc dùng nam châm để gắn đầu đo. Khi đo trong nhà trên các mặt phẳng nằm ngang có thể dùng băng dính 2 mặt trên các bề mặt khá cứng với gia tốc dưới  $1 \text{ m/s}^2$  mặc dù cách gắn kiểu cơ học được ưu tiên hơn.

Tránh đo trên sàn nhà có phủ các loại vật liệu vì cho kết quả sai lệch. Khi không thể dịch chuyển đầu đo được thì phải tiến hành các phép đo so sánh với khối lượng và điều kiện kết dính của đầu đo khác nhau để đánh giá ảnh hưởng của lớp phủ sàn.

### 7.2.2 Gắn trên mặt đất

Khi đo trên đất, có thể cố định đầu đo trên thanh thép cứng (có đường kính trên 10 mm) và được đóng qua lớp đất xốp. Thanh thép này không được nhô cao quá trên mặt đất vài milimét. Cần đảm bảo giữa đầu đo và đất có sự tiếp xúc tốt. Trong trường hợp gia tốc đo lớn hơn  $2 \text{ m/s}^2$  thì phải đóng thanh thép vào đất chắc chắn để tránh trượt.

Để giảm thiểu sai lệch khi đầu đo phải gắn trực tiếp vào đất, đầu đo này phải được chôn sâu vào đất ở độ sâu ít nhất gấp ba lần kích thước chính của đầu đo/khối gắn đầu đo. Hoặc đầu đo có thể gắn cố định trên một tấm phẳng cứng với tỷ lệ khối lượng ( $m/\rho r^3$ ) không lớn hơn 2, trong đó  $m$  là khối lượng của đầu đo và tấm phẳng và  $r$  là bán kính tương đương của tấm phẳng. Đa số các loại đất có khối lượng riêng,  $\rho$ , trong khoảng từ 1500 kg/m<sup>3</sup> đến 2600 kg/m<sup>3</sup>.

## **8 Thu thập, loại bỏ và phân tích số liệu**

### **8.1 Khái quát**

Mục đích của phép đo là thu được thông tin đầy đủ để đánh giá phương pháp đã chọn được thực hiện với độ tin cậy cao (xem điều 9).

Lượng thông tin yêu cầu cho đặc trưng tính chất của rung động tăng lên theo độ phức tạp của rung động từ dao động tuần hoàn đơn giản đến dao động tĩnh ngẫu nhiên và dao động tức thời.

Hệ thống thu thập số liệu là đầy đủ để xác định một chuyển động tuần hoàn trong một dải tần số xác định có thể lại không đầy đủ để thiết lập thậm chí một chỉ số thông số đơn (thí dụ như vận tốc hạt đỉnh) đối với dao động phức tạp hơn.

### **8.2 Mô tả số liệu**

Bất cứ số liệu nào thu được do quan sát một quá trình vật lý có thể được mô tả chung dưới dạng dao động xác định hay ngẫu nhiên. Có thể mô tả các thông số xác định bằng một hàm số toán học rõ ràng.

Hình 1 minh họa các loại thông số có thể gặp. Việc mô tả về mỗi loại được nêu trong ISO 2041.

### **8.3 Phương pháp phân tích số liệu**

Mặc dù các phân loại chính trình bày trên hình 1 không nêu số liệu nhưng loại phân tích vẫn rõ ràng. Nếu các số liệu được phân loại là xác định, thì phép phân tích đơn giản (giá trị hiệu dụng  $r.m.s.$ , giá trị đỉnh-đỉnh, giá trị trung bình bình phương) là đủ.

Trong trường hợp đặc biệt đối với các số liệu xác định không tuần hoàn, phải xác định biên độ đỉnh mà không đặt điều kiện trước (mặc dù thành phần thẳng có thể được bù bằng phép phân tích một phần số liệu trước khi thu được tín hiệu). Chi tiết nêu trong [10] và [12]. Dải động học 40 dB là phù hợp cho nhiều mục đích, nhưng dải 50 dB hay được sử dụng hơn.

Phải thử các số liệu ngẫu nhiên ở chế độ tĩnh (xem [13]).

Nếu các số liệu được cho là tĩnh, thì các phương pháp trình bày trong Phụ lục C là phù hợp và được mô tả chi tiết trong [10], [12], [13] và [14].

## 9 Phương pháp đánh giá số liệu

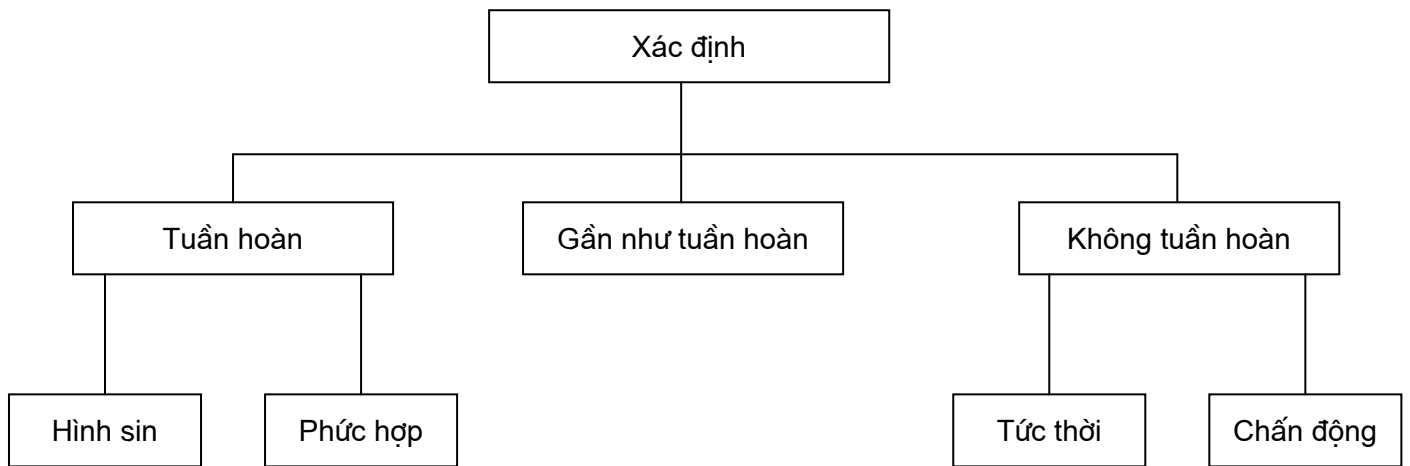
### 9.1 Khái quát

Đánh giá các phép đo phải phản ánh cả mục đích đo và loại khảo sát.

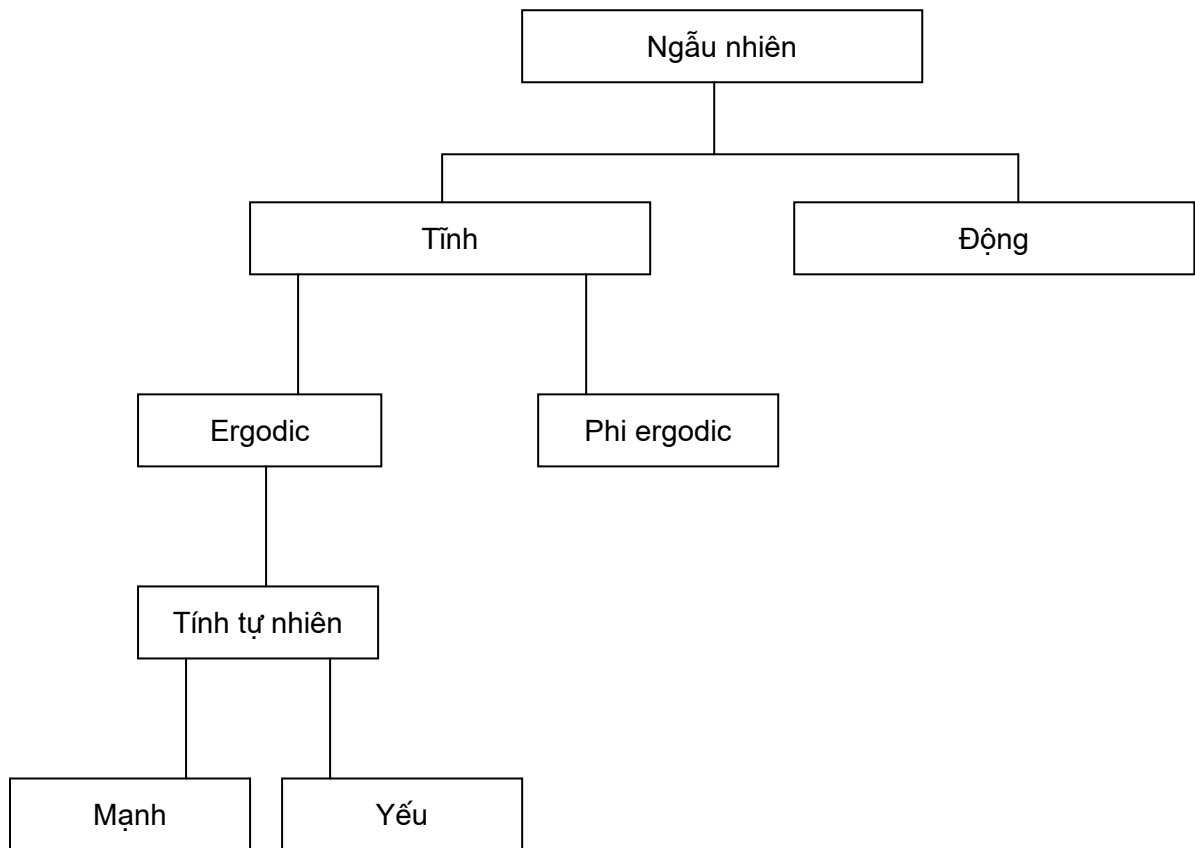
Sự phân tích phản ứng đầy đủ cho mục đích dự báo trước đòi hỏi thông tin về chi tiết và điều kiện kết cấu thường không thể có được. Do đó người nghiên cứu cần có phương pháp thích hợp để đánh giá mức tối đa của rung động lên kết cấu có khả năng dẫn đến hư hỏng. Khi đánh giá cần chú ý các yếu tố sau:

- a) tần số cộng hưởng của kết cấu chính và các thành phần khác như tường, sàn, cửa sổ...;
- b) đặc tính tắt chấn của kết cấu chính và các thành phần khác;
- c) loại kết cấu, điều kiện và tính chất vật liệu;
- d) đặc điểm phổ kết cấu;
- e) đặc tính dao động;
- f) dạng biến dạng;
- g) đặc tính không tuyến tính của biên độ.

Mặc dù tiêu chuẩn này bước đầu đề cập đến đo đạc và đánh giá ảnh hưởng của rung động; nhưng khi đánh giá rung động phải nhớ thực hiện loạt công việc, xác định nguồn, đường truyền rung động, hàm chuyển đổi.



**a/ Các số liệu xác định**



**b/ Các số liệu ngẫu nhiên**

**Hình 1 - Phân loại các kiểu số liệu**



## 9.2 Các loại khảo sát

Đối với nhiều thông số cần quan tâm đã được liệt kê trong 9.1 từ a) đến g); thì việc chọn thiết bị, vị trí đo trong CTXD, loại thiết bị ghi, số lượng kênh dữ liệu hoặc điểm đo mong muốn, thời gian quan trắc hiện tượng, và tốc độ thu thập số liệu sẽ được quyết định ngay. Những điểm chung về yêu cầu thiết bị trong điều 6 và Phụ lục C đưa ra để dễ dàng chọn lọc thiết bị cho những yêu cầu đặc biệt. Ngoài ra, vấn đề quan trọng là nêu rõ được mức độ phức tạp trong khảo sát. Các thiết bị nào xác định được đặc điểm môi trường rung động bằng một đại lượng đơn như những đại lượng liên quan với phản ứng của con người và điều kiện máy móc, thì có thể dùng để khảo sát sơ bộ miễn là với những đặc tính tần số giới hạn được xem xét đến. Trong tiêu chuẩn này, những vấn đề cần xem xét là: đánh giá sơ bộ, chương trình quan trắc, khảo sát ngoài hiện trường và phân tích kỹ thuật chi tiết.

### 9.2.1 Đánh giá sơ bộ

Thông thường, cần tiến hành đánh giá về những vấn đề về rung động trong phòng thí nghiệm trước khi đo đạc tại hiện trường. Có thể dùng các phương pháp thực nghiệm để ước lượng đặc tính với điều kiện các số liệu về thông số nguồn và đặc trưng của công trình xây dựng như tần số cơ bản và độ tắt chấn là có sẵn.

### 9.2.2 Quan trắc thăm dò

Phép đo được giới hạn để đo rung động đối với công trình xây dựng hoặc trên một vùng đất có thể chỉ ra sự tồn tại của những vấn đề yêu cầu phải khảo sát thêm. Sai số lớn là rất phổ biến và việc này cần phải được xem xét (xem đoạn cuối của 9.2.3).

### 9.2.3 Khảo sát hiện trường

Việc khảo sát hiện trường tại một số vị trí đo (xem 7.1) nhằm đánh giá giá trị cực trị của rung động để so sánh với các giá trị qui định trong qui phạm hoặc tiêu chuẩn.

Trong trường hợp rung động lặp lại trong khoảng thời gian đủ để khảo sát thì có thể sử dụng các đầu đo giống nhau tại các điểm khác nhau trên móng nhà gần nguồn.

Trong quan trắc thăm dò (xem 9.2.2) và khảo sát tại hiện trường, các phép đo phải được dùng với độ chính xác thích hợp với độ bất định trong chỉ số rung động và mối tương quan thực nghiệm đã sử dụng.

Thông thường, các chỉ số thông số đơn như vận tốc hạt đỉnh hoặc gia tốc đỉnh và các giá trị hiệu dụng chỉ cần biết trong khoảng  $\pm 10\%$  với mức tin cậy 68% .

### 9.2.4 Phân tích kỹ thuật

Đối với các kết cấu phức tạp trọng yếu chịu tác động của rung động có yêu cầu xem xét kỹ lưỡng, thì biểu hiện của kết cấu với rung động cần được đánh giá theo cách chi tiết hơn.

## **TCVN 7191 : 2002**

Thiết bị kiểm tra quá trình dao động phải lắp đặt ở một số vị trí để đảm bảo rằng các giá trị đặc trưng cho kết cấu đó không bị vượt quá.

Nếu xem xét đến chức năng truyền dao động từ đất sang móng thì cần tiến hành đo ghi đồng thời cả bên ngoài và bên trên móng. Vị trí đo ghi trên móng là ở điểm trên tường chính ở độ cao sàn tầng trệt hay nền nhà.

Số lượng và vị trí điểm đo phải được xác định và thay đổi theo đặc điểm của tòa nhà và sự quan sát trong quá trình kiểm tra đo đạc.

Nếu có thể, phải xác định các tần số tự nhiên của tòa nhà.

Trong trường hợp rung động có thể lặp lại trong khoảng thời gian khảo sát, thì sử dụng các đầu đo giống nhau tại các điểm khác nhau trên móng nhà gần nguồn.

Đối với những kết cấu trọng yếu, cần tiến hành phân tích cũng như ước lượng tải trọng kết cấu. Việc phân tích kỹ thuật đầy đủ cần một hệ thống thiết bị có khả năng đánh giá tần số tới  $\pm 1\%$  và độ tắt chấn tới  $\pm 10\%$ .

### **9.3 Báo cáo về công việc kiểm tra**

Mẫu báo cáo phải phù hợp với kiểu điều tra (xem 9.2), nhưng tối thiểu báo cáo này phải bao gồm các phần sau:

#### **a) Phân tích rủi ro**

- 1) Mô tả nguồn,
- 2) Loại và điều kiện tòa nhà, phù hợp với Phụ lục A,
- 3) Mục đích đo đạc,
- 4) Viện dẫn tiêu chuẩn được sử dụng và loại điều tra nghiên cứu.

#### **b) Đo đạc**

- 1) Vị trí và cách gắn đầu đo.
- 2) Loại và cấu tạo đầu đo, thiết bị kiểm tra và ghi tín hiệu.
- 3) Các yếu tố hiệu chuẩn đối với hệ thống thiết bị đo.
- 4) Dải tần số và độ tuyến tính.
- 5) Đánh giá nguồn sai số.
- 6) - Để kiểm tra hoặc khảo sát (xem 9.2.2 và 9.2.3), cần ghi chép liên tục các giá trị vận tốc hạt đỉnh.  
- Để điều tra tiếp (xem 9.2.4), thường xuyên ghi chép quá trình dao động.

#### **c) Kiểm tra tòa nhà**

- 1) Kiểm tra tòa nhà trước khi chịu tác động của rung động, ghi chép bằng đồ thị các vết nứt và những hư hỏng khác.
- 2) Kiểm tra những tòa nhà tương tự sau khi chịu tác động của rung động.
- 3) Đánh giá những hư hỏng quan sát được.

d) Viện dẫn những tiêu chuẩn liên quan khác.

#### 9.4 Đánh giá để dự báo

Một tòa nhà có thể chịu tác động của nguồn mới, bên ngoài hoặc bên trong và cần đánh giá đặc tính rung động của tòa nhà. Đối với những tòa nhà quan trọng cần có những thông tin đầy đủ về các đặc tính của dao động và tính chất của kết cấu, phân tích bằng số khi dùng một hoặc các kỹ thuật phổ biến khác của phổ, đặc tính Fourier, phép lấy tích phân từng phần theo thời gian. Thay vì những đại lượng động học (độ dịch chuyển, vận tốc, gia tốc) (xem 9.6) có thể trình bày bằng số liệu thực nghiệm phù hợp cho từng loại nhà <sup>[7]</sup>.

Một cách biểu diễn thuận lợi một rung động trong lĩnh vực tần số là “ phổ đặc tính ” được sử dụng rộng rãi trong kỹ thuật <sup>[7]</sup> ( xem IEC 68-2-27). Đối với trường hợp đặc biệt có độ tắt chấn bằng 0 , nó gần với phổ biên độ Fourier.

Phần lớn các trường hợp, các đặc tính của kết cấu được xác định là xấu dù các phương pháp thử động học được thực hiện. <sup>[7]</sup>

#### 9.5 Đánh giá để nghiên cứu rung động trong nhà

Đánh giá tình trạng rung động trong nhà có thể tiến hành với các mức chính xác khác nhau phù hợp với phương pháp nghiên cứu trình bày trong 9.2. Dấu hiệu của cực trị rung động có thể trong khoảng thời gian có ứng suất hay các đại lượng động học. Trong một vài trường hợp, việc quan sát trực tiếp vết nứt hở hay bị dẫn nở cho thông tin giá trị về tính chất của kết cấu và có thể chỉ ra hư hỏng đang tiến triển. <sup>[15], [16]</sup>

#### 9.6 Các đại lượng động học là những giá trị cực trị của rung động trong kết cấu

Trong vài thập kỷ qua đã tiến hành nghiên cứu những cực trị của rung động của đại lượng như độ dịch chuyển đỉnh, vận tốc, gia tốc liên quan đến những ảnh hưởng lên kết cấu.

Khi phép đo được thực hiện trên một kết cấu, thì một đại lượng động học như vận tốc đỉnh biểu thị một ứng suất (xem phụ lục B) và lần lượt liên quan đến ứng suất cho phép. Khi đại lượng động học đáp ứng kết cấu toàn bộ được đo ở vài vị trí đã chọn thì tần số và độ tắt chấn của kết cấu, và khoảng thời gian ảnh hưởng đến cực trị của rung động. Đại lượng động học là một chỉ số thực nghiệm đặc trưng cho từng loại nhà (xem 3.3).

Một số tính toán của các yếu tố đó thể hiện trong việc sử dụng giá trị gia tốc hay vận tốc phổ đỉnh là chỉ số hư hỏng <sup>[6], [11]</sup> áp dụng cho nhà ít tầng (một đến ba tầng nhà) và cả tòa nhà <sup>[16]</sup>.

## **TCVN 7191 : 2002**

Sự phụ thuộc của cực trị vào đáp ứng tần số của tòa nhà và tần số kích thích cũng được thừa nhận trong các hiệu chỉnh thực nghiệm mà được áp dụng cho các tòa nhà có dải tần số trượt cơ bản hữu hạn và nhận biết các phân loại cực trị khác nhau ở các dải tần số khác nhau. Một hướng dẫn chung về các mức rung động cho trong Bảng 1.

### **9.7 Những khía cạnh xác suất**

Có bằng chứng ngày càng rõ là những chuẩn cứ liên quan đến rung động gây những ảnh hưởng thấy được trên tòa nhà (hư hỏng phần trang trí, hư hỏng nhẹ và nặng) phải được tiếp cận theo cách xác suất.

Để có thể phối hợp giữa tuổi tác và điều kiện của tòa nhà, có thể không đưa ra được giới hạn thấp tuyệt đối về kinh tế.

Có trường hợp đặc biệt, hoặc giá trị động học đỉnh (thường là vận tốc hạt) của dao động của đất trong dải tần số xác định hay vận tốc đỉnh tương ứng với gia tốc phổ hoặc độ dịch chuyển được sử dụng như là một chỉ số của khả năng hư hại. Nguy cơ nhỏ nhất đối với tác động đã định rõ thường chiếm 95 % xác suất của không tác động.

Việc đánh giá đáp ứng của tòa nhà hoặc các thành phần của nhà có thể bằng cách đo đặc biến dạng cục bộ hay độ dịch chuyển tương đối (thí dụ việc kiểm tra vết nứt) mặc dù việc đó không cấu thành phương pháp đo của trạng thái rung động. Tuy nhiên, có thể cho phép (có khó khăn) đánh giá trực tiếp ứng suất động để so sánh với chuẩn cứ thiết kế.

### **9.8 Các hệ số mới**

Sự thay đổi ứng suất trong nhiều chu kỳ mang một nguy cơ về hỏng hóc do mỏi tăng lên. Có thể tham chiếu các qui phạm thiết kế phù hợp cho các thành phần thép. Không có sẵn các hướng dẫn cho bê tông, công trình nề và các vật liệu xây dựng khác. Cần phải tham chiếu để thực hiện nghiên cứu. Các rung động trong thời gian dài và ở mức thấp có tới  $10^{10}$  thay đổi tải có thể phải đưa vào tính toán cho các kết cấu đặc biệt, các đài kỷ niệm, vv...<sup>[17]</sup>

### **9.9 Mô tả các hư hại**

Trong tiêu chuẩn này, các hư hại được phân chia theo các loại sau:

#### **- Hư hại về thẩm mỹ**

Xuất hiện các vết nứt nhỏ như sợi tóc trên bề mặt tường, hoặc các vết nứt lớn thêm trên mặt lớp vữa hoặc bề mặt tường; thêm vào đó là sự xuất hiện các vết nứt nhỏ tại chỗ nối bằng vữa của kết cấu gạch và bê tông.

#### **- Hư hại nhỏ**

Xuất hiện các vết nứt lớn hoặc rộp và rơi lớp vữa, lớp bề mặt tường, hoặc vết nứt sâu trong gạch hay bê tông.

**- Hư hại lớn**

Hư hỏng tại các thành phần kết cấu của tòa nhà, các vết nứt tại các cột chịu lực , hở các chỗ nối, lan rộng các vết nứt, vv

Chú thích 2 - Việc mô tả hư hỏng tương đương với các thang cường độ được các nhà địa chấn học sử dụng.

## Phụ lục A

(tham khảo)

### Phân loại các công trình xây dựng

#### A.1 Khái quát

Phụ lục này cung cấp bản hướng dẫn đơn giản và hữu ích cho việc phân loại các công trình xây dựng theo phản ứng có thể xảy ra đối với những rung động cơ học truyền qua đất.

Một hệ thống động học dùng cho việc phân loại này bao gồm **đất và địa tầng** ở đó có xây **nền móng** (nếu có), cùng với **kết cấu xây dựng**.

Bảng A.2 đưa ra 14 loại đơn giản có xem xét đến các yếu tố sau:

- loại cấu trúc (như đã xác định trong Bảng A.1);
- nền móng nhà (xem A.5);
- đất (xem A.6);
- yếu tố công cộng.

Dải tần số được xem xét nằm trong khoảng từ 1 Hz đến 150 Hz (xem thêm 3.3) và bao gồm hầu hết các rung động xảy ra trong công nghiệp, nổ mìn, đóng cọc và giao thông vận tải. Không tính đến chấn động do các thiết bị công nghiệp truyền trực tiếp đến kết cấu dù ảnh hưởng của chúng có tồn tại trong khoảng cách nhất định. Không tính đến chấn động sinh ra do nổ mìn, đóng cọc hoặc các nguồn khác ở bên ngoài ranh giới sát với kết cấu nhưng có ảnh hưởng đến kết cấu. Không nghiên cứu các tòa nhà cao quá 10 tầng.

#### A.2 Các kết cấu được xem xét

##### A.2.1 Các kết cấu sau nằm trong khung phân loại

- tất cả các tòa nhà dùng cho sinh hoạt và làm việc (nhà ở, cơ quan hành chính, bệnh viện, trường học, nhà tù, nhà máy, vv...);
- công trình công cộng (tòa thị chính, nhà thờ, đền chùa, nhà thờ Hồi giáo, tòa nhà kiểu máy xay trong công nghiệp nặng, vv...);
- các tòa nhà lâu năm, cổ có giá trị về kiến trúc, vòm cong và lịch sử ;
- các kết cấu nhẹ cho công nghiệp thường thiết kế theo qui phạm xây dựng.

##### A.2.2 Các kết cấu sau không nằm trong khung phân loại:

- các kết cấu nặng như lò phản ứng hạt nhân và các công trình phụ trợ và nhà máy điện hạt nhân, nhà máy nghiền bi, các kết cấu kỹ thuật hóa chất, tất cả các loại đập, các kết cấu chứa chất lỏng và hạt như tháp nước, bể nước, kho chứa dầu, các silô chứa hạt hoặc các loại khác, vv...;
- tất cả các kết cấu ngầm dưới đất;
- tất cả các kết cấu ở biển.

### **A.3 Xác định nghĩa cấp công trình xây dựng (xem Bảng A.2)**

Các cấp của công trình xây dựng được xác định bằng cách lấy một công trình xây dựng được duy trì bảo dưỡng tốt làm chuẩn. Công trình xây dựng làm chuẩn phải không có bất kỳ một khiếm khuyết nào về kết cấu cũng như hư hỏng do động đất. Nếu kết cấu không đáp ứng các yêu cầu đó, thì phải phân định vào cấp thấp hơn.

Thứ bậc để xếp loại cấu trúc phụ thuộc vào khả năng chống đỡ với rung động và vào sức chịu đựng có thể chấp nhận được đối với ảnh hưởng của rung động lên kết cấu không tính đến giá trị kiến trúc, khảo cổ và lịch sử của chúng.

Có ba yếu tố quan trọng tham gia vào phản ứng của kết cấu với ảnh hưởng của rung động cơ học. Ba yếu tố đó là:

- loại cấu trúc - Bảng A.1 phân loại sơ bộ các cấu trúc trên cơ sở các nhóm được định nghĩa trong A.4;
- nền móng (xem A.5);
- tính chất của đất (xem A.6).

## **A.4 Các loại cấu trúc**

### **A.4.1 Nhóm 1 - Các công trình xây dựng cổ và lâu năm hoặc các cấu trúc được xây dựng theo truyền thống**

Các loại CTXD được xem xét trong nhóm này có thể chia làm hai nhóm phụ sau:

- a) các CTXD lâu năm, cũ hoặc cổ;
- b) các tòa nhà hiện đại nhưng kiến trúc theo kiểu cổ, truyền thống và dùng các loại vật liệu, phương pháp và tay nghề truyền thống.

Nói chung, nhóm này gồm các kết cấu nặng và có hệ số tắt chấn rất cao, ngay tức thời do lớp vữa xốp. Nhóm này cũng gồm các cấu trúc đàn hồi truyền thống dùng trong các vùng động đất. Các công trình xây dựng trong nhóm này hiếm khi cao quá sáu tầng.

## **TCVN 7191 : 2002**

### **A.4.1 Nhóm 2 - Các tòa nhà và cấu trúc hiện đại**

Các loại CTXD xem xét trong nhóm này là các kết cấu hiện đại sử dụng các vật liệu tương đối cứng với xu hướng, thông thường là nhẹ và có hệ số tắt chấn nhỏ.

Nhóm này bao gồm các CTXD có cấu trúc được tính toán kỹ về các tường chịu lực. Các tòa nhà gồm từ một đến nhiều tầng. Tất cả các loại nhà có sơn phủ không thuộc nhóm này. Nhóm này cũng bao gồm một số kiểu nhà cũ có sử dụng các vật liệu hiện đại, và giằng chấn.

### **A.5 Các loại nền móng**

#### **A.5.1 Loại A**

Loại A bao gồm các kiểu nền móng sau đây:

- được liên kết tăng cường bê tông và cọc thép;
- được tăng cường độ cứng khối bê tông lớn;
- được liên kết cột gỗ;
- tường chịu lực.

#### **A.5.2 Loại B**

Loại B bao gồm các kiểu nền móng sau đây:

- không được tăng cường bằng cọc bê tông<sup>2)</sup>;
- trải dài theo chân tường;
- cọc gỗ và bè gỗ.

#### **A.5.3 Loại C**

Loại C bao gồm các kiểu nền móng sau đây:

- các tường ngăn nhẹ;
- chân tường bằng đá to;
- không có móng - tường xây trực tiếp trên đất.

### **A.6 Các loại đất**

Đất được phân loại theo các loại sau:

**Loại a:** đá không nứt hay đá khá cứng, cát rất nhỏ hay cát để trộn xi măng;

**Loại b:** đất rắn chắc, đất trải đều nằm ngang;

---

<sup>2)</sup> Các cọc, liên kết với kết cấu thường ở đỉnh cọc.



**Loại c:** đất yếu, đất trải đều nằm ngang;

**Loại d:** bề mặt nghiêng với bề mặt mỏng;

**Loại e:** thành hạt, cát, sỏi (không dính liền), đất sét ướt dính liền;

**Loại f:** chứa đầy.

**Bảng A.1 Phân hạng các kết cấu theo nhóm công trình xây dựng**

Hạng kết cấu	Nhóm nhà (xem A.4)		
	1	2	
← Giảm tính chịu rung	1	<p>Các CTXD nhiều tầng trong công nghiệp nặng, cao từ năm đến bảy tầng, loại chống được động đất.</p> <p>Các kết cấu nặng như cầu,pháo đài,thành lũy</p>	<p>Các CTXD công nghiệp từ hai đến ba tầng, cấu trúc nặng bằng bê tông chịu lực hoặc kết cấu bằng thép tấm và /hoặc panen tấm, gạch, hay bê tông đúc sẵn và với sàn bằng thép, bê tông đúc sẵn hay đổ tại chỗ.</p> <p>Các tòa nhà công nghiệp nặng bằng composit, kết cấu thép và bê tông</p>
	2	Các CTXD khung gỗ, nặng, CTXD công cộng kể cả loại chống được động đất	Các CTXD công nghiệp từ năm đến chín tầng (hoặc hơn) dùng để ở, làm văn phòng, bệnh viện khung nhẹ có tăng cường bê tông hoặc kết cấu thép với panen tấm, gạch,hay bê tông đúc sẵn không thiết kế chống động đất
	3	Các nhà và CTXD khung gỗ từ một đến hai tầng dùng kết hợp với vật liệu trát và / hoặc lớp sơn phủ, gồm các loại cabin ngăn, chống được động đất	Các CTXD công nghiệp một tầng khối lượng nhẹ vừa phải, kiểu mở được nối bằng các vách ngăn bên trong bằng thép, nhôm, gỗ hay panen nhẹ, loại chống được động đất
	4	Các CTXD nhiều tầng (từ năm đến bảy tầng hoặc hơn) khá nặng, dùng làm nhà kho trung bình, nhà ở	Các nhà và CTXD hai tầng để ở, dùng kết hợp có kết cấu bằng tấm, gạch hay bê tông đúc sẵn và kết cấu sàn và mái tăng cường, hoặc toàn bộ bằng bê tông hay tương tự, tất cả là loại chống được động đất
	5	Các nhà và CTXD từ bốn đến sáu tầng dùng kết hợp trong thành phố, được làm bằng các tấm, hay gạch, tường chịu lực có kết cấu nặng, bao gồm các nhà trang nghiêm và kiểu cung điện nhỏ	Các CTXD từ bốn đến mười tầng để ở và tương tự, kết cấu chính bằng tấm chịu lực vật liệu nhẹ và gạch, được tính toán hoặc không tính toán được nối phần lớn bằng các tường bên trong với vật liệu tương tự và bằng tầng cường bê tông đúc sẵn hoặc sàn bê tông đổ tại chỗ ít nhất trên mỗi tầng
	6	Các nhà và CTXD hai tầng dùng kết hợp được làm bằng các tấm, gạch với sàn và mái bằng gỗ Các tháp được xây bằng đá hoặc gạch, loại chống được động đất	Các nhà và CTXD hai tầng dùng kết hợp, bao gồm văn phòng được kết cấu bằng tường tấm, gạch, bê tông đúc sẵn và với kết cấu sàn và mái bằng gỗ hoặc bê tông đúc sẵn hay đúc tại chỗ.
	7	<p>Nhà thờ, tòa thị chính hoặc tương tự rất cao có cấu trúc vòm hay có khớp được xây bằng đá hay gạch, với hoặc không có xây vòm, bao gồm nhà thờ có vòm nhỏ và các tòa nhà tương tự</p> <p>Nhà thờ khung cấu trúc "mở" (tức là không nối qua) ít nặng và kho kiểu tòa nhà gồm các tòa nhà công nghiệp vững chắc, ga ra, tháp, tòa thị chính, đền chùa, nhà thờ Hồi giáo và các tòa nhà tương tự với mái và sàn bằng gỗ khá nặng</p>	Các nhà và CTXD một và hai tầng dùng kết hợp làm bằng cấu trúc nhẹ với các vật liệu nhẹ, chế tạo sẵn hoặc tại chỗ, kết hợp hai loại hay riêng biệt
	8	<p>Các đồng đồ nát hoặc gần đồ nát hay các công trình xây dựng khác, tất cả trong trạng thái mỏng manh.</p> <p>Tất cả công trình có tính lịch sử quan trọng hạng 7.</p>	

**Bảng A.2 - Phân loại các công trình xây dựng theo sự chống chịu với rung động và sự chịu đựng có thể chấp nhận do tác động của rung động**

Loại CTXD <sup>1)</sup>		Hạng kết cấu (xem bảng A.1)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		Loại nền móng (chữ hoa) và loại đất (chữ thường) (xem A.5 và A.6)							
←Giảm mức rung chấp nhận	1	A a							
	2	A b	A a	A a	A a				
	3		A b B a	A b B a	A b	A a A b			
	4		A c B b	B b	A c	A c B a B b			
	5		B c	A c		B c	B a		
	6		A f		A d	B d	B b C a	B a	
	7			A f	A e	B e	B c C b	B b C a	
	8						B e C c	B c C b	
	9		B f				C d	B d C c	A a
	10			B f			C e	B e C d	A b
	11				C f	C f		C e	B a
	12						C f		B c C a
	13							C f	B d C b C c
	14								C d C e C f
<sup>1)</sup> Số hạng càng cao yêu cầu mức độ bảo vệ càng cao.									

## Phụ lục B

(tham khảo)

### Xác định ứng suất cực trị theo vận tốc hạt cực trị

Có thể tính ứng suất của các dầm hoặc bản mỏng khi rung động gần cộng hưởng từ phép đo vận tốc hoặc độ dịch chuyển và tần số, nếu phép đo được thực hiện tại các điểm có độ dịch chuyển lớn nhất. Trong trường hợp này, những hiểu biết về điều kiện biên và độ cứng là không cần thiết khi đánh giá ứng suất.

Đối với các dầm có tiết diện ngang hình chữ nhật, có độ cứng và tải trọng không đổi thì áp dụng mối liên hệ sau, giữa ứng suất uốn lớn nhất  $\sigma_{\max}$  với vận tốc rung động  $v_{\max}$  phụ thuộc vào chiều dài, chiều cao và chiều rộng của dầm như sau:

$$\sigma_{\max} \approx \sqrt{E_{\text{dầm}} \rho} \times \sqrt{3 \frac{G_{\text{tổng}}}{G_{\text{dầm}}}} \times k_n \hat{v}_{\max}$$

trong đó

$\hat{v}_{\max} = x_{\max} \times \omega$  là biên độ lớn nhất của vận tốc rung động xuất hiện tại một điểm trên chiều dài của dầm [ $\omega$  tần số cưỡng bức xấp xỉ bằng  $\omega_n$  (tần số tự nhiên của dầm)];

$E_{\text{dầm}}$  là mô đun đàn hồi động lực học;

$\rho$  là khối lượng riêng

$\frac{G_{\text{tổng}}}{G_{\text{dầm}}}$  là hệ số chịu tải ( $G_{\text{tổng}} = G_{\text{dầm}} + G_{\text{tải trọng khác}}$ ); khi đó dấu được chất tải bổ sung vào chính trọng lượng của dầm.

$k_n$  là hệ số dạng (không thứ nguyên) 1 đến 1,33; hệ số  $k_n$  phụ thuộc vào điều kiện biên và bậc của dạng và chỉ ảnh hưởng nhẹ.

Chi tiết khác, xem ở [18].

## Phụ lục C

(tham khảo)

### Các số liệu ngẫu nhiên

#### C.1 Khái quát

Số liệu ngẫu nhiên có thể gặp trong thực tế (tải trọng gió, máy nghiền). Kỹ thuật phân tích phổ có thể dùng để đánh giá các đặc tính phản ứng. Việc đánh giá có thể chính xác nhiều hay ít tùy thuộc vào đặc tính kết cấu (tần số và độ tắt dần của cách chọn) và độ chính xác theo yêu cầu của phân tích<sup>[14]</sup>. Có hai loại sai số, chuyển dịch và dao động<sup>[14]</sup>. Lựa chọn thời gian ghi phụ thuộc vào sai số cho phép đã chọn. Thí dụ, nếu sai số chuyển dịch là 4 % và sai số dao động là 10 % thì thời gian ghi  $T_r$ , tính bằng giây có thể tính được bằng công thức sau:

$$T_r = \frac{200}{\eta f_n}$$

trong đó

$\eta$  là tỷ số tắt dần;

$f_n$  là tần số tự nhiên của dạng  $n$ , tính bằng héc.

Thí dụ, nếu  $\eta = 1 \%$  và  $f_n = 1$  Hz thì cần thời gian ghi chép là 20 000 s để đánh giá các sai số chuyển dịch và dao động đã chọn ở trên. Nếu  $\eta$  bằng 2 % và  $f_n$  bằng 10 Hz thì cần một thời gian ghi chép là 1000 giây. Sai số cho phép lớn hơn thì có thể giảm thời gian ghi chép yêu cầu.

Các yêu cầu này không phụ thuộc vào loại thiết bị dùng để phân tích. (Trong thực tế thường dùng máy ghi loại từ). Sự tắt dần của kết cấu được giải quyết tại phụ lục sau của tiêu chuẩn này.

Các số liệu ngẫu nhiên động trình bày những vấn đề đặc biệt và việc tham khảo phải thực hiện theo tài liệu thích hợp; xem [14].

Việc phân tích các số liệu ngẫu nhiên dẫn đến một trong hai lĩnh vực là tần số và thời gian. Những lĩnh vực này nghiên cứu ở C.2 và C.3.

#### C.2 Vùng tần số

Nói chung khi phân tích rung động, đại lượng thường dùng nhất là mật độ phổ năng lượng (PSD). Khi phân tích rung động kết cấu, có thể dùng mật độ phổ biên độ. Các loại phân tích khác trong lĩnh vực này bao gồm hàm chuyển đổi, mật độ phổ năng lượng (PSD) đi qua, hàm kết hợp, mật độ phổ bậc hai. Các kết quả này được trình bày như là “đại lượng vật lý” bình phương trên một héc, không có thứ nguyên và tỷ lệ với các đại lượng vật lý.

**C.3 Miền thời gian**

Trong miền thời gian có thể thực hiện các phép phân tích thống kê, tự tương quan, tương quan cắt ngang. Hàm tự tương quan là nghịch đảo của phổ năng lượng thường dùng phổ biến nhất. Có thể dùng nhiều đại lượng trong miền thời gian với các số liệu xác định. Tuy nhiên, các hàm phức tạp hơn thường dùng với các số liệu ngẫu nhiên. Phép phân tích theo miền thời gian bao gồm phép lấy trung bình, hiệu dụng r.m.s., tính đỉnh, tính ngang zero cũng như mật độ xác suất, phân bố xác suất, tính đối xứng và Kurtosis.

## Phụ lục D

(tham khảo)

### Dự báo các tần số tự nhiên và độ tắt dần của công trình xây dựng

#### Giới thiệu

TCVN 6964 (ISO 4866) qui định phương pháp đo phản ứng của công trình xây dựng bao gồm các tần số tự nhiên cơ bản. Khi không thể đo trực tiếp hoặc bị hạn chế do độ tắt dần cao, do cộng hưởng của thành phần phụ, hoặc các khó khăn thực nghiệm khác, thì cần phải đánh giá tần số tự nhiên và giá trị tắt dần của công trình xây dựng.

Phụ lục này đưa ra hướng dẫn đánh giá tần số tự nhiên cơ bản và giá trị tắt dần kết hợp. Phụ lục này cũng lưu ý đến tính bất định cần phải tính đến khi đánh giá các tần số tự nhiên cơ bản của một CTXD được dùng trong các qui trình đo hoặc đánh giá.

#### D.1 Dự báo các tần số tự nhiên của các công trình xây dựng lớn sử dụng các phương pháp thực nghiệm

Có nhiều công thức thực nghiệm để dự báo tần số  $f$ , hoặc chu kỳ  $T$  của cách chuyển dịch cơ bản, của những cách đơn giản nhất là  $f = 10/N$  Hz (tức là  $T = 0,1Ns$ ) với  $N$  là số tầng. Các qui phạm của các nước khác nhau đưa ra những công thức khác và các công thức này có thể chia thành 3 loại:

$$T = k_1 H \quad (D.1)$$

trong đó

$H$  là chiều cao, tính bằng mét;

$T$  là chu kỳ, tính bằng giây;

$k_1$  là hệ số có giá trị từ  $0,14 \text{ sm}^{-1}$  đến  $0,03 \text{ sm}^{-1}$

(tham khảo trong [24] đến [27]).

$$T = k_2 H \sqrt{D} \quad (D.2)$$

trong đó

$D$  là chiều rộng tương đương với lực, tính bằng mét;

$k_2$  là hệ số có giá trị từ  $0,087 \text{ sm}^{-3/2}$  đến  $0,109 \text{ sm}^{-3/2}$

(tham khảo trong [25] và [28]).

$$T = k_3 H \sqrt{D} \quad \text{hàm của } (H, D, I) \quad (D.3)$$

(ví dụ, xem trong [29]).

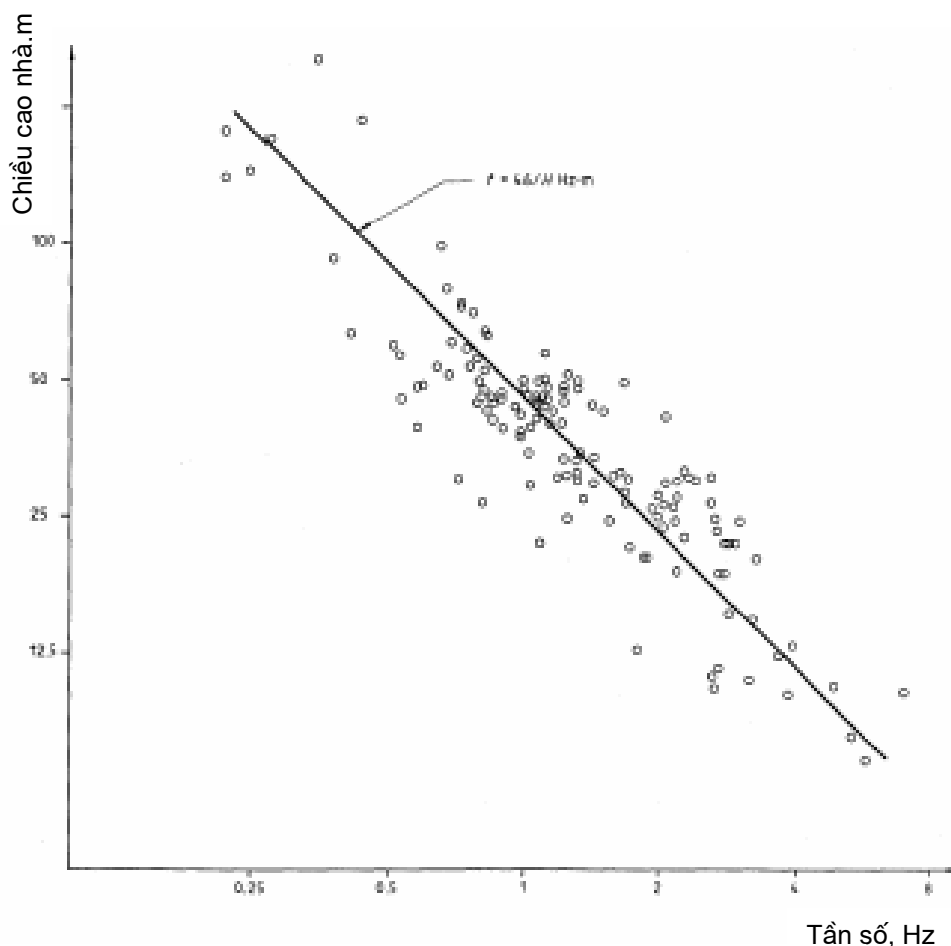
Chú thích 1 -  $k_1$  có đơn vị là  $\text{sm}^{-1}$ ;  $k_2$  có đơn vị là  $\text{sm}^{-3/2}$

## TCVN 7191 : 2002

Trong nghiên cứu sau [30], nghiên cứu một mẫu có 163 công trình xây dựng mặt bằng hình chữ nhật, khuyến nghị  $f = 46/H$  Hz.m (tức là  $T = 0022H$  sm<sup>-1</sup>) cho dạng chuyển dịch cơ bản,  $f = 58/H$  Hz.m cho dạng chuyển dịch vuông góc và  $f = 72/H$  Hz.m cho dạng chuyển dịch xoắn cơ bản (cỡ mẫu của 63 CTXD).

Chú thích 2 - Trong các công thức này,  $f$  là thực nghiệm. Chúng cũng có thể được xem xét như phương trình giá trị số cho ra các giá trị  $f$  tính bằng Hz khi các giá trị của  $H$  tính bằng m, cho thí dụ  $f = 46/H$ .

Hình D.1 chỉ cho biết việc tạo ra sự phù hợp của đồ thị  $f = 46/H$  Hz.m, với các số liệu và nó có thể được đánh giá là chắc chắn có sai số lớn cần tính đến. Có thể thấy rằng sai số  $\pm 50\%$  là không bình thường và điều đó là điển hình của độ chính xác có thể dự đoán khi sử dụng công thức thực nghiệm. Dựa trên các số liệu đã đo được, nó chứng tỏ rằng chủng loại của tần số tự nhiên của CTXD cao có thể tính xấp xỉ một cách hợp lý bằng đường thẳng.



Hình D.1 - Lập đồ thị của tần số cơ bản và chiều cao của 163 công trình xây dựng có mặt bằng hình chữ nhật bằng cách sử dụng thang logarit



## D.2 Dự báo tần số tự nhiên của CTXD lớn khi dùng các phương pháp theo máy tính

Từ lâu đã biết rằng khi sử dụng các công thức thực nghiệm rất có thể có các sai số tương đối lớn, nhưng nói chung cũng được chấp nhận vì việc đánh giá tần số thoả mãn có thể thu được kết quả khi dùng một trong các phương pháp tiêu chuẩn theo máy tính. Tuy nhiên, không đơn giản khi xác định một mô hình toán học tin cậy cho các CTDX có kết cấu phức tạp; vì vậy phải chấp nhận các mô hình chỉ cung cấp các dự báo gần đúng. Trong tài liệu tham khảo [30], một bằng chứng được công bố là mối tương quan giữa các tần số tính toán với các tần số đo được thực tế kém hơn mối tương quan giữa các tần số dự tính khi dùng  $f = 46/H$  Hz.m với các giá trị đo được. Sự khác nhau có thể là do tính không tương xứng trong việc mô hình hóa các tính chất thực của tòa nhà. Bởi vậy việc dự tính các tần số cơ bản phải được xử lý cẩn thận.

Các phương pháp đặc biệt đã được biên soạn để phân tích các CTXD trọng tâm [31], các CTXD bị chuyển dịch [32], khung nhà vồng và các CTXD xây bằng khung [33], nhưng với bất kỳ phương pháp nào thì vấn đề quan trọng là phải kiểm tra xem liệu phương pháp đó khi hiệu chuẩn có dùng dãy các số liệu thực nghiệm tin cậy hay không và những sai số nào có thể gặp. Nếu phương pháp sử dụng chưa được làm rõ những điều nghi ngờ đó thì khi ấy độ chính xác của phương pháp mà lớn hơn độ chính xác của người thực nghiệm dự báo thu được thì phương pháp ấy không được thừa nhận. Chỉ những tần số cơ bản là được xem xét thảo luận, nhưng những tần số đã được dự báo từ các dạng tần số cao hơn sẽ bị những sai số tương tự hoặc có thể lớn hơn. Điều đó nghĩa là trừ những trường hợp đặc biệt mà mô hình toán học phù hợp với các kết quả theo kinh nghiệm, các dự báo bao gồm nhiều dạng tính toán phải coi như không chắc chắn.

## D.3 Dự báo các giá trị tắt dần của các tòa nhà lớn

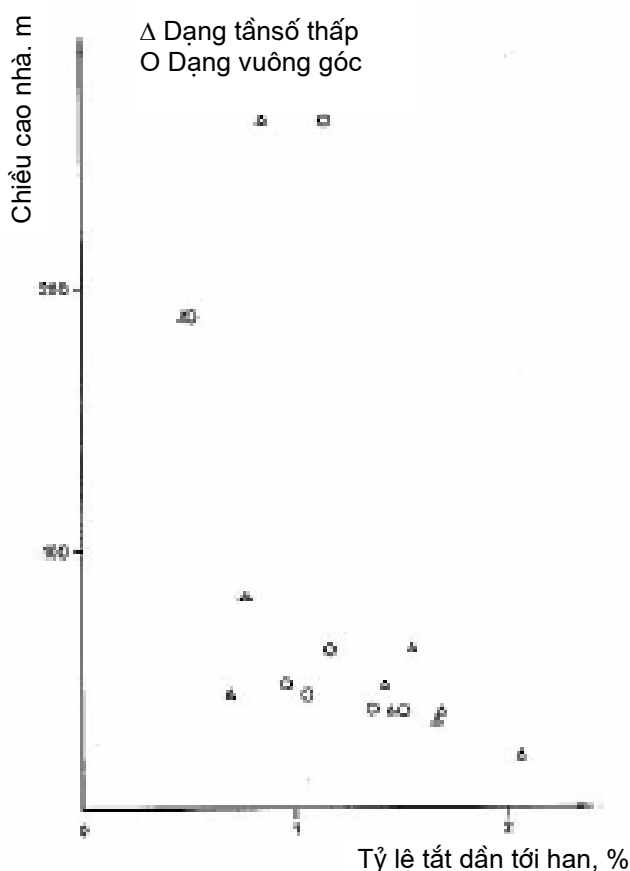
Sự tắt dần (hay tỷ lệ của tiêu tán năng lượng) ở bất kỳ dạng nào thì giới hạn sự chuyển động trong dạng đó, và để đánh giá đặc tính của tòa nhà lên tải trọng đã cho thì cần phải đánh giá hoặc đo lường tắt dần. Không có phương pháp thử cho dự tính độ tắt dần và các thông số đo được cho thấy các giá trị tắt dần ở trong khoảng từ 0,5 % đến 2,1 % (xem Hình D.2). Các giá trị lớn hơn cũng có thể gặp trong các tòa nhà mà sự tương tác giữa kết cấu và đất là đáng kể. Các khung thép có cấu tạo đơn giản có thể có độ tắt dần là rất nhỏ. Các phương pháp dự đoán độ tắt dần đã xây dựng (xem tham khảo [34] và [35]) nhưng độ chính xác thì không định được.

Hình D.2 là đồ thị độ tắt dần và chiều cao ngôi nhà cho một mẫu nhà đã chọn [36]. Có thể thấy một sự khác biệt lớn về độ tắt dần đối với các dạng chuyển dịch vuông góc của những tòa nhà tương tự nhau. Độ tắt dần một phần là hàm số của các phương pháp cấu trúc và tay nghề công nhân xây dựng và không thể dự đoán chính xác. Vì vậy những sai số lớn trong đánh giá phải được lường trước.

#### D.4 Các tần số tự nhiên và giá trị tắt dần trong các công trình xây dựng thấp tầng

Các đặc tính của 96 CTXD thấp tầng được trình bày trong tài liệu tham khảo [37], và [38]. Các CTXD này xây dựng ở Mỹ có chiều cao 1,1<sup>1/2</sup> và 2 tầng với cả móng, móng từng phần hoặc các khoảng trống. Các số liệu cho biết tần số đo được trung bình giảm đi khi tăng chiều cao nhà.

Hình D.3 cho biết sơ đồ mối quan hệ giữa số lượng CTXD và các tần số đo được của chúng. Điều quan trọng cần lưu ý là dải các tần số đã gặp và do đó sai số khi dự đoán theo kinh nghiệm. Không có khuynh hướng rõ ràng cho tần số thay đổi theo tuổi hoặc vị trí của nhà và cũng không có mối tương quan của tần số với các kích thước bề mặt nhà.



Hình D.2 Chiều cao CTXD và tỷ lệ tắt dần cho các dạng chuyển dịch cơ bản của

#### 10 tòa nhà có tương quan kết cấu với đất là không đáng kể

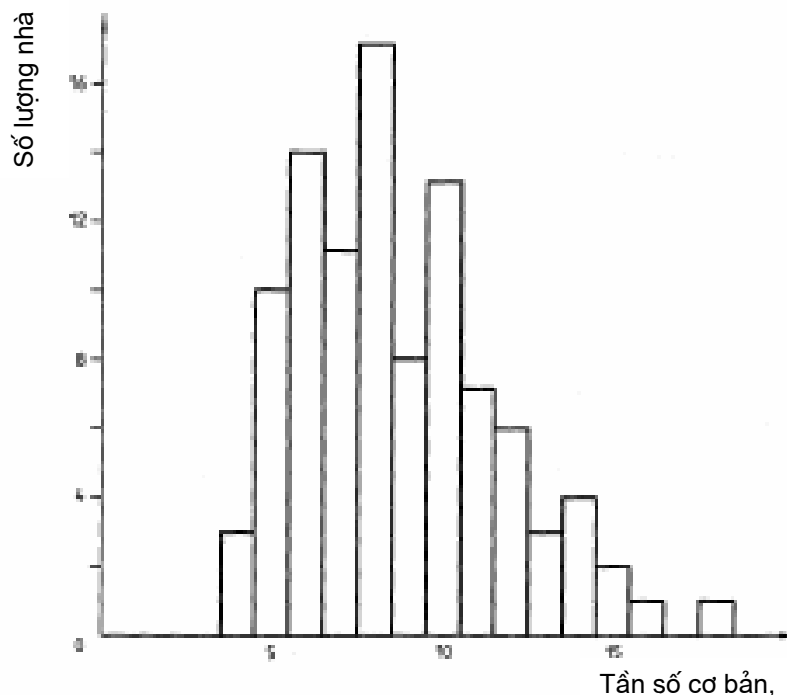
Hình D.4 cho biết sơ đồ mối quan hệ giữa số lượng CTXD và tỷ số tắt dần của chúng. Điều đó thông thường chỉ ra tỷ số tắt dần càng cao khi các tòa nhà càng cao và cũng cho biết dải các giá trị tắt dần có thể gặp. Mối quan hệ giữa độ tắt dần và kích thước hình học CTXD là không rõ ràng

### D.5 Trạng thái không tuyến tính

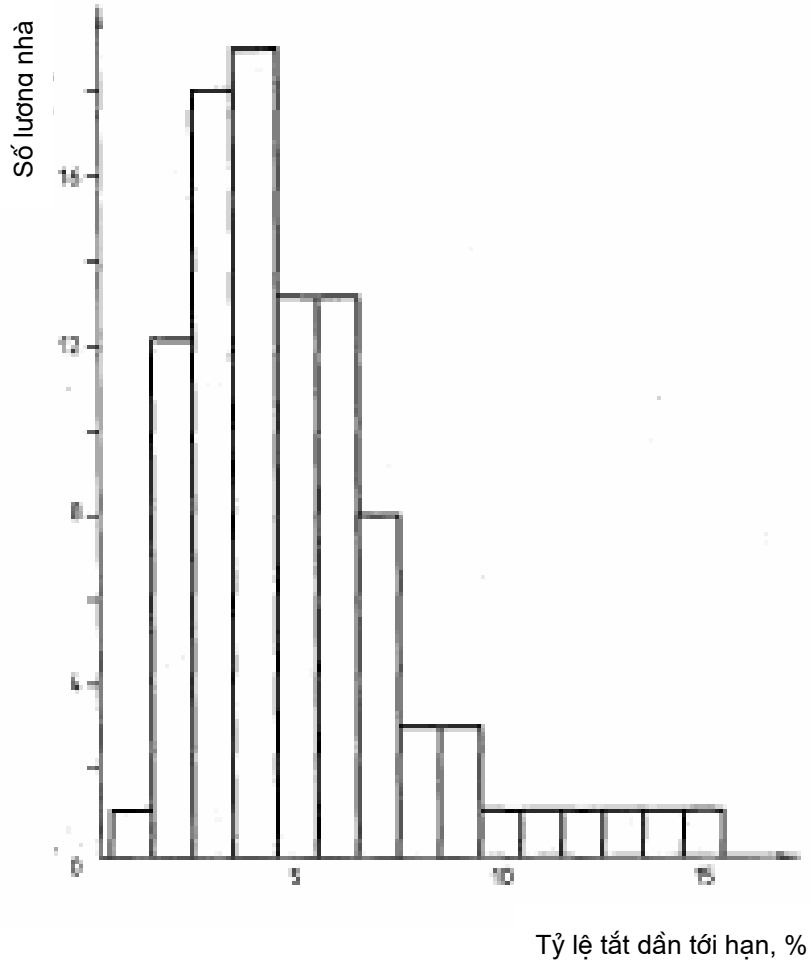
Các điều ở trên đề cập đến tần số tự nhiên và độ tắt dần của mỗi dạng và điều đó cho biết các đại lượng này là không đổi. Tuy nhiên, các đại lượng này thay đổi theo biên độ chuyển động và khi phân tích động đất thì chúng là quan trọng (mặc dù khó khăn trong xác định định lượng). Nói chung gió sinh ra dao động biên độ nhỏ (so với động đất lớn) và các biến đổi về tần số tự nhiên và độ tắt dần trong dải các biên độ là nhỏ. Trong một tòa nhà chịu được những lực tương đương với dải của gió từ nhẹ đến mạnh như bão, biến đổi 3 % về tần số và 30 % về độ tắt dần [36]. Có thể cho rằng các thay đổi này là có thể không có ý nghĩa và có thể bỏ qua khi thiết kế.

### D.6 Lời bình luận cuối

Kết luận chung trong phụ lục này là các dự báo về lý thuyết có thể bao gồm sai số đáng kể. Vì vậy các phân tích về lý thuyết phải xem xét những sai số có thể gặp dùng các phép biến đổi tham số và đối với những kết cấu quan trọng thì các tính toán để thiết kế phải được kiểm tra sử dụng các phép đo thực nghiệm khi kết cấu hoàn chỉnh.



Hình D.3 - Các tần số đo tại 36 CTXD thấp tầng



Hình D.4 - Các tỷ lệ tất dẫn đo tại 36 CTXD thấp tầng

## Phụ lục E

(tham khảo)

### Sự tác động rung động giữa móng kết cấu và đất

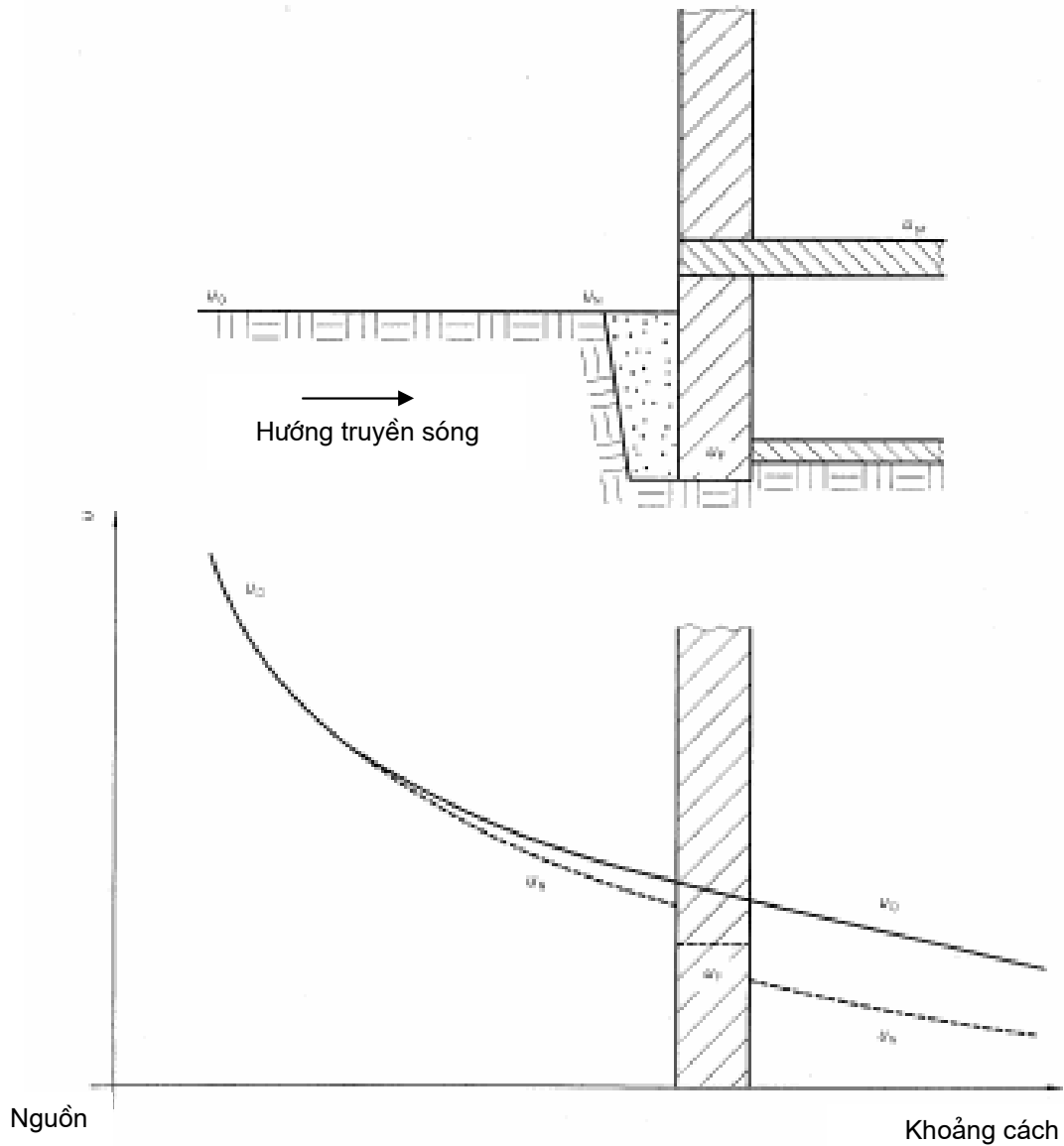
#### E.1 Khái quát

Khi phép đo rung động không thể thực hiện trên móng của kết cấu hoặc bên trong CTXD, thì TCVN (ISO 4866) cho phép phép đo ấy được tiến hành trên mặt đất phía ngoài. Có thể cần phải dự báo đặc tính của CTXD khi còn chưa xây dựng. Trong cả hai trường hợp này, cần phải biết mối tương tác động học giữa tòa nhà với mặt đất.

Trong trường hợp thứ nhất, phần lớn vị trí bên ngoài CTXD là để đo và mối liên quan giữa tín hiệu tại vị trí đó và trên móng CTXD cần thiết lập.

Trong trường hợp thứ hai, phản ứng của móng nhà có thể được theo dõi tỉ mỉ chuyển dịch của đất tiếp xúc với móng trừ khi ảnh hưởng lẫn nhau là đáng kể. Phụ lục này nhằm chỉ ra bản chất của sự tác động lẫn nhau và đưa ra phương pháp cho phép đưa vào tính toán.

Hình E.1 minh họa các ký hiệu sử dụng trong phụ lục này ở các thuật ngữ biên độ đỉnh  $u$ , truyền qua móng ( $u$  có thể là biên độ của độ dịch chuyển, vận tốc, hoặc gia tốc của sóng hình sin). Biên độ trong trường tự do được biểu thị bằng  $u_0$ , biên độ ở nền của móng là  $u_F$ , biên độ ở vị trí tùy ý trong kết cấu là  $u_{st}$ , và trên bề mặt đất gần tòa nhà là  $u_N$ . Ở vị trí xa với kết cấu thì  $u_N = u_0$ . Phân tích tác động lẫn nhau giữa đất và kết cấu thường xem xét mối tương quan giữa chuyển dịch trong trường tự do và chuyển dịch của kết cấu, đó là  $u_{st}/u_0$  và trong trường hợp đặc biệt  $u_F/u_0 = r_0$ . Tỷ số quan trọng  $u_F/u_N = r_N$  được tính bằng các phương pháp phức tạp hơn mà cũng cách thể hiện đó vấn đề đáp ứng của đất bao gồm sự thay đổi biên độ theo chiều sâu.



**Ký hiệu:**

$u$  là biên độ của độ dịch chuyển, vận tốc hoặc gia tốc của sóng hình sin

$u_0$  là biên độ trong trường tự do

$u_N$  là biên độ trên bề mặt đất gần CTXD

$u_F$  là biên độ trên nền của móng

$u_{st}$  là biên độ tại vị trí bất kỳ trên móng

$$r_0 = u_F/u_0$$

$$r_N = u_F/u_N$$

**Hình E.1 - Các ký hiệu biểu thị sóng truyền theo phương nằm ngang**

## E.2 Nghiên cứu lý thuyết

Tương tác giữa kết cấu-đất ảnh hưởng đến phản ứng động học của mọi kết cấu ở vài mức độ. Một CTXD cứng được xây trên nền đất cứng có phản ứng lại theo các cách như nhau trên đất. Trong thực tế, đất không có độ cứng vô hạn và có thể cung cấp một cơ cấu để bức xạ và tiêu tán năng lượng. Vì thế nó có thể được coi như một lò xo và hệ thống giảm chấn hoặc một loạt các hệ thống như thế ở dưới móng.

Mức độ ảnh hưởng lẫn nhau giữa đất và kết cấu là một mặt đáng kể của đáp ứng kết cấu phụ thuộc vào các thông số động của kết cấu và của đất, đặc biệt ở các tần số tự nhiên của kết cấu và tính chất cứng của đất. Khi nghiên cứu độ cứng tương đối của các tòa nhà thấp tầng (có chiều cao 6m - 7m), vấn đề có thể nghiên cứu là đặc tính theo phương thẳng đứng của một khối cứng trên lò xo và giảm chấn được điều chỉnh cho phù hợp giải pháp phân tích với đất như là đẳng hướng bán vô hạn và nửa không gian đàn hồi đồng nhất. Như các khái niệm đơn giản đưa ra khuyếch đại cực đại theo phương thẳng đứng không vượt quá 2. Các dạng rung chuyển và trượt có thể cũng được khảo sát tỷ mỉ theo cách tương tự và đưa ra khuyếch đại hơi cao và theo lý thuyết có thể thực hiện được trong phần lớn các trường hợp. Tuy nhiên, khuyếch đại theo phương thẳng đứng thì chắc chắn bị giới hạn vì năng lượng của sóng truyền qua bị kết cấu giữ lại và bức xạ lại vào đất vì vậy biên độ tắt dần

Việc nghiên cứu đầy đủ sự tương quan giữa kết cấu và đất phải tính đến địa tầng, sự thay đổi độ cứng của đất theo chiều sâu, ảnh hưởng của tải trọng nhà lên độ cứng của đất, ảnh hưởng của tính liên tục về độ cứng của đất, hình dạng móng và việc đóng móng cũng như tần số dao động.

Sự tương quan động giữa đất và kết cấu là một trong các vấn đề trọng tâm của kỹ thuật động đất và trong hai thập kỷ vừa qua phương pháp phân tích đã được phát triển, chủ yếu đối với công nghiệp hạt nhân đưa ra một lượng lớn tài liệu (xem các tài liệu tham khảo từ [39] đến [45]). Phép phân tích tinh tế cũng được sử dụng cho gió và các tải trọng do người làm ra và vài nguyên tắc đơn giản hóa được tìm ra (xem các tài liệu tham khảo [46] và [47]).

Có thể chia các phương pháp phân tích tiên tiến ấy thành hai loại:

- a) phương pháp trực tiếp, bằng cách đất và kết cấu cùng được sử lý; đất có thể trình bày dưới dạng các phân tử giới hạn, các thông số tập trung hoặc cả hai (mô hình kết hợp);
- b) phương pháp siêu cấu trúc, bằng cách đáp ứng của đất và kết cấu được tính như những hệ riêng rẽ mà giữa đất và kết cấu có sử dụng lò xo và giảm chấn hoặc hàm số của độ cứng.

Phép gần đúng nữa là phổ đáp ứng được sử dụng rộng rãi trong động đất và tải trọng chấn động khác (xem tài liệu tham khảo [48]). Phép này có thể phù hợp cho tính toán tương quan giữa đất và kết cấu khi giảm tần số tự nhiên tác động lên kết cấu trên đất có độ cứng nhỏ. Ảnh hưởng của đáp ứng đất có thể chấp nhận ở phần khi dùng phổ đáp ứng thiết kế mà thay đổi cho phù hợp với profin của đất về chiều sâu của mô đun trượt.

## TCVN 7191 : 2002

Nói chung, tần số gần bằng với tần số dao động là tần số tự nhiên của tòa nhà hoặc một thành phần của tòa nhà, còn tần số lớn hơn sẽ là đáp ứng. Các trận động đất với tần số thấp từ 0,5 Hz đến 8 Hz, duy trì dao động với các tần số thấp hơn tần số tự nhiên của tòa nhà; dao động do con người gây ra thường ở tần số lớn hơn và duy trì dao động của các thành phần của tòa nhà. Hơn nữa dải các tần số của dao động thẳng đứng của các thành phần ngôi nhà (6 Hz đến 40 Hz) nằm trong dải của dao động do con người tạo ra, ảnh hưởng đến các đặc trưng uốn cong tương đối lớn được quan sát ở trên trần (xem tài liệu tham khảo [49]).

### E.3 Mối quan hệ giữa rung động ở mặt đất và nền móng

Có những khó khăn liên quan đến việc đo đạc trên đất gần tòa nhà, thí dụ như:

- điểm đo thường xa các vị trí quan tâm ở bên trong kết cấu;
- có nhiều điều không chắc chắn khi gắn đầu đo lên đất hơn là trên kết cấu tòa nhà;
- đất gần CTXD thường bị nhiễu;
- các biên độ rung động gần tòa nhà có thể thay đổi theo khoảng cách tính từ tòa nhà và tỷ lệ với chiều dài bước sóng.

Các phương pháp trực tiếp để phân tích mối tương quan giữa đất và kết cấu thường đắt tiền và cần hiểu biết chi tiết về các tính chất của đất, tuy nhiên các phương pháp này có thể đưa ra một số hướng dẫn về các yếu tố sau chịu ảnh hưởng của  $r_N$ .

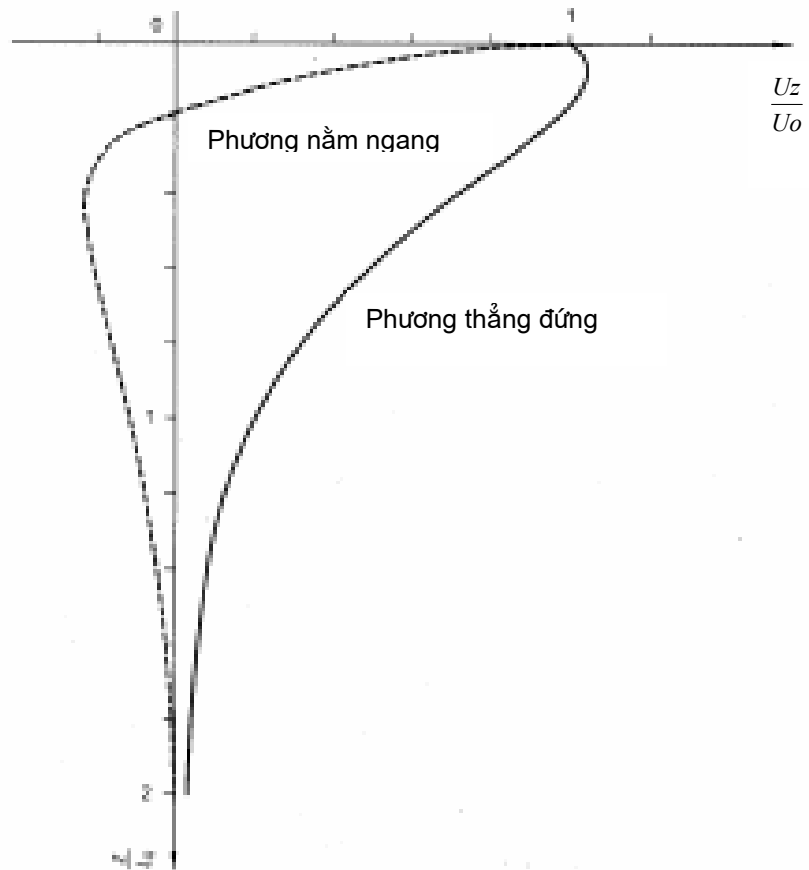
- a) Biên độ của rung động có thể chịu ảnh hưởng của sự phản xạ ở phía trước của móng (phía sóng đi qua) và bị giảm ở phía sau do tiêu tán và phản xạ ở mặt trước. Những ảnh hưởng này phụ thuộc vào kích thước của móng, chiều sâu và chiều dài bước sóng dao động.
- b) Khi lan truyền giống như sóng Rayleigh mặt (thường đối với nguồn xa), thì biên độ giảm theo chiều sâu (xem thí dụ ở hình E.2), móng càng sâu thì dao động càng nhỏ.
- c) Các dao động động đất mạnh thường giống các sóng trượt phân cực ngang truyền theo phương thẳng đứng có biên độ tăng lên như các sóng đi ra từ lớp cứng hơn. Hơn nữa móng càng sâu thì rung động càng nhỏ đi.

Các điều phức tạp đó loại trừ một tập hợp xác định các nguyên tắc liên quan đến  $r_N$  và  $r_0$  việc phân loại kết cấu và tính chất của dao động, nhưng cả hai phép đo (xem tài liệu tham khảo [50]) và nghiên cứu lý thuyết chỉ ra rằng trong phần lớn các trường hợp các dao động của con người tạo ra thì giá trị  $r_N$  có thể bằng một hoặc nhỏ hơn. Điều này được xác nhận ở những kết quả bằng câu hỏi thăm dò <sup>11</sup> chỉ ra là đối với chuyển động thẳng đứng, không xét về tần số, thì  $r_N$  ở trong khoảng 0,3 đến 0,6. Độ khuếch đại cực đại ghi được là trong đặc trưng nằm ngang và tăng lên tới 13%. Biểu đồ của các câu trả lời trong các bảng câu hỏi được cho trong hình E.3 và E.4.



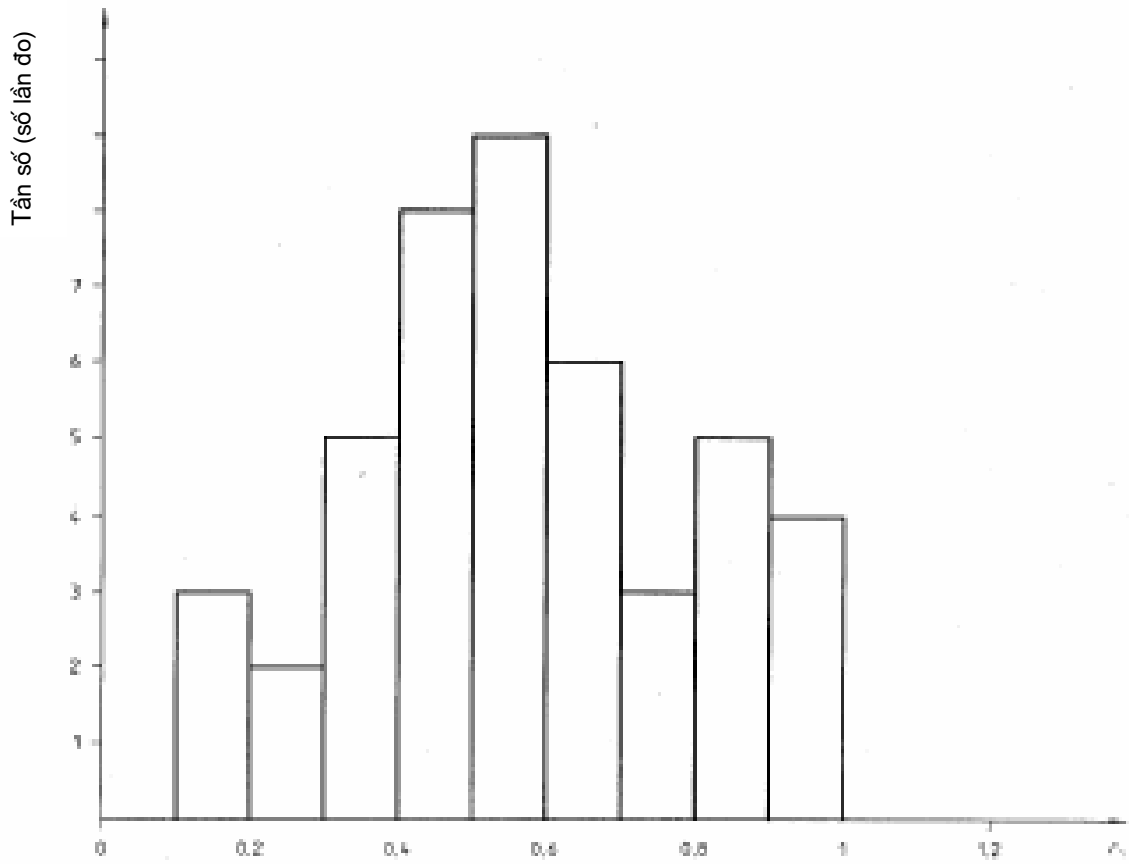
Sự suy giảm chung của các rung động thẳng đứng trên móng so sánh với trên mặt đất gần tòa nhà có thể không nắm được trong trường hợp ở đó có đặc trưng dao động rõ rệt đến rung động liên tục.

Đối với các vị trí đo thích hợp gần tòa nhà thì các vị trí này phải cách tòa nhà nhỏ hơn 2 m hoặc  $1/10$  chiều dài bước sóng.

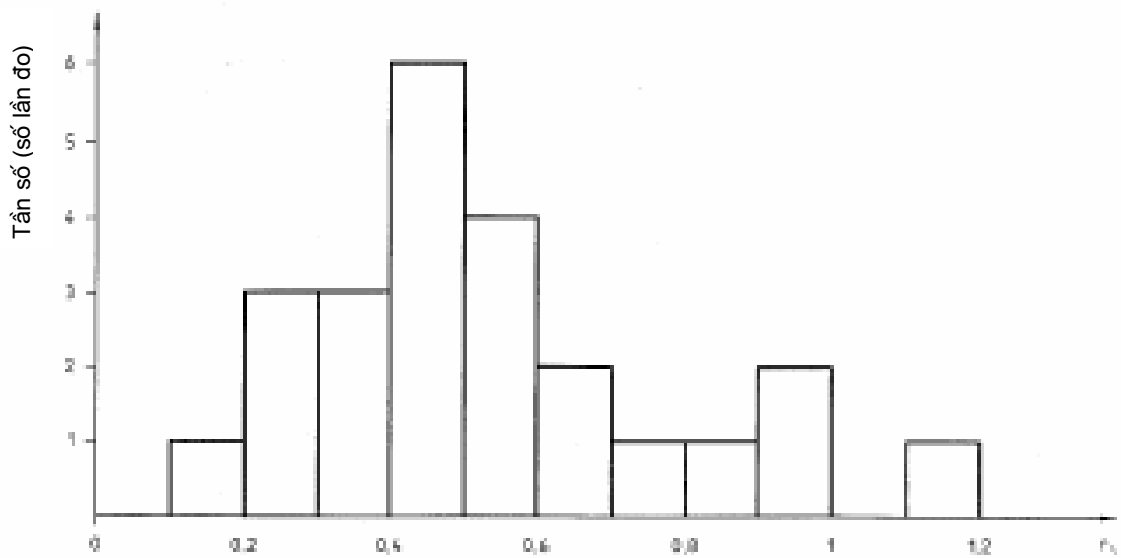


$L_R$  là chiều dài bước sóng Rayleigh

**Hình E.2 - Sự biến đổi của biên độ rung động  $u_z$  theo chiều sâu  $z$  của sóng Rayleigh**



Hình E.3 Sự phân bố tần số  $r_N$  (rung động theo phương thẳng đứng)



Hình E.4 Sự phân bố tần số  $r_N$  (rung động theo phương nằm ngang)

**Phụ lục F**

(tham khảo)

**Tài liệu tham khảo**

- [1] BROCH, J.T. Mechanical Vibration and Shock, Brüel & Kjær, Nærum, Denmark, 1972.
- [2] JEARY, A.P. Private communication. Building Research Establishment Note, 1980.
- [3] Applied Technology Council, Tentative provisions for the development of seismic regulations for buildings (ATC Special Publication 3.06; NBS Special Publication 510; NSF Publication 78.8, p. 56; NSF Publication, pp. 65-70; NSF Publication, pp. 381-400), 1978.
- [4] DIN 4149/1, Bauten in deutschen Erdbebengebieten; Lastannahmen, Bemessung and Ausführung üblicher Hochbauten (Buildings in German earthquake areas; design loads, analysis and structural design; unusual buildings).
- [5] DIN 4150/1, Erschütterungen im Bauwesen; Grundsätze, Vorermittlung and Messung von Schwingungsgrößen (Vibrations in building; principles, predetermination and measurement of the amplitude of oscillations).
- [6] MEDEARIS, K. Development of rational damage criteria for low rise structures subject to blasting vibrations, K.M. Assoc. Report, 1976.
- [7] NEWMARK, M. and ROSENBLUTH, E. Fundamentals of earthquake engineering, Eaglewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1973.
- [8] SEED, H.B. Soil liquefaction and cyclic mobility evaluation for level ground during earthquake. American Society of Civil Engineers, GT2, 1979, pp. 201-25.
- [9] PYKE, R., SEED, H.B. and CHAN, C.K. Settlement of sands under multidirectional shaking. American Society of Civil Engineers, GT4, pp. 379-398.
- [10] RABIMER, L.R. and GOLD, B. Theory and Application of Digital Signal Processing, Eaglewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1974.
- [11] SISKIND, D.E., STAGG, M.S., Kopp, J.W. and DOWDING, C.H. Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting; United States Bureau of Mines. Report of Investigations No. RI. 8507, 1980.
- [12] OTNES, R. and ENOCHSON, L. Digital Time Series Analysis, New York: John Wiley & Sons, 1972.
- [13] BENDAT, J.S. and PIERSOL, A.G. Random data: Analysis and measurement procedures, New York: John Wiley & Sons, 1971.
- [14] OPPENHEIM, A.V. and SCHAFER, R.W. Digital Signal Processing, Eaglewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1975.

## **TCVN 7191 : 2002**

- [15] FANG, H.Y. and KROENER, R.M. Soil-structure interaction during blasting. International Symposium on Soil Structure Interaction, University of Roorkee, India, 1977.
- [16] DIN 4150/3, Erschütterungen im Bauwesen; Einwirkungen auf bauliche Anlagen (Vibrations in building; effects on structures).
- [17] CROCKETT, J.H.A. Piling vibrations and structures failure. Recent Development in the Design and Construction of Piles, Institution of Civil Engineers London, 1979.
- [18] GASCH, Eignung der Schwingungsmessung zur Ermittlung der dynamischen Beanspruchung in Bauteilen. Berichte aus der Bauforschung, 58, Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, 1968.
- [19] DOUGLAS, B. Modal Damping Determinations from Resonance Spectral Shape Measurements: Journal of the Acoustical Society of America, 58, Suppl. No. 1, 1975.
- [20] PAOLILLO, A. Suitability of existing vibration criteria for rail rapid transit system. Acoustical Society of America, Atlanta, Georgia, April 21 to 25, 1980.
- [21] Building Research Establishment (UK), Cracking in buildings. Digest No. 5, 1966 (reprinted 1975).
- [22] ISO 3010:1988, Bases for design of structures - Seismic actions on structures.
- [23] GUTOWSKI, T.G., WITTIG, L.E. and Dym, C.L. Some aspects of the ground vibration problem. Noise Control Engineering, 10, No. 3, 1978.
- [24] KAWECKI, J. Empirical formulae used for calculating the natural periods of vibrations of buildings. Czasopismo Techniczne, Z 7-B (129), 1969.
- [25] STEFFENS, R.J. Structural vibration and damage. Building Research Establishment Report, UK, 1974.
- [26] BARKADZE, E.I. Problems of determining the results of instrumental measurements of natural periods of buildings. Soobs AN Groz, 39 (6), 1962.
- [27] NAKA, T. Structural design of tall buildings in Japan. ASCE-IABSE Joint Committee Report: Planning and design of tall buildings, Proc. 3rd Regional Conference, Tokyo, Sept. 1971.
- [28] ANDERSON, A.W. et al. Lateral forces of earthquake and wind. Proc. ASCE, 77 (Separate) No. 66, 1951.
- [29] Recommendations Association Française du Génie Parasismique - 90. Presse des Ponts et Chaussées, Paris.
- [30] ELLIS, B.R. An assessment of the accuracy of predicting the fundamental natural frequencies of buildings and the implications concerning the dynamic analysis of structures. Proc. Inst. Civ. Eng., 69, Sept. 1980.
- [31] ESDU 81036, Undamped natural frequencies of core buildings. ESDU, London, Nov. 1981.
- [32] ESDU 79005, Undamped natural vibration of shear buildings. ESDU, London, May 1979.
- [33] ESDU 82019, Undamped natural vibrations of sway frame buildings and frame structures. ESDU, London, Aug. 1982.
- [34] ESDU 83009, Damping of structures - Part 1: Tall buildings. ESDU, London, May 1983.

- [35] JEARY, A.P. Damping in tall buildings'- A mechanism and a predictor. *Earthquake Engineering and Structural Design*, 14, 1986.
- [36] ELLIS, B.R. Dynamic soil-structure interaction in tall buildings. Ph.D. Thesis, University of London, 1984.
- [37] MEDEARIS, K. The development of rational damage criteria for low-rise structure subjected to blasting vibrations. Report to National Crushed Stone Association, Washington DC, Aug. 1976.
- [38] SISKIND, D.E. et al. Structural response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting. US Dept. of Interior, Bureau of Mines, RI 8507, 1980.
- [39] NEWMARK, M. and ROSENBLUTH, E. Fundamentals of earthquake engineering. Prentice Hall, 1973.
- [40] RICHARD, F.E., HALL, J.R. and WOODS, R.D. Vibrations of soils and foundations. Englewood Cliffs, NJ, 1970.
- [41] WOLF, J.P. Dynamic soil structure interaction. Prentice Hall, 1985.
- [42] CLOUGH, R.W. and PENZIEN, J. Dynamics of structures. McGraw Hill Corp., New York, 1975.
- [43] WARBURTON, G.B., RICHARDSON, I.D. and WEBSTER, J.J. Forced vibrations of two masses on an elastic halfspace. *Transactions ASME*, March 1971.
- [44] HOLZLOHNER, U. Dynamically loaded buildings on the soil. Proc. X ICSMFE, Vol. 3, Stockholm, 1981.
- [45] ROESSET, J.M. and GONZALES, J.J. Dynamic interaction between adjacent structures. Proc. DMSR, Karlsruhe 1977, Vol. 1, Balkema, Rotterdam, 1978.
- [46] ELLIS, B.R. Dynamic soil structure interaction in tall buildings. Ph.D. Thesis, University of London, 1984.
- [47] AUERSCH, L. Durch Bodenerschütterungen angeregte Gebäudeschwingungen - Ergebnisse von Modellrechnungen. BAM Research Report 108, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven, 1984.
- [48] FOSTER, G.A. Structural response and human response to blasting vibration effects - is there a connection? *Vibra-tech* report, 1985.
- [49] AUERSCH, L., HEBENER, H. and RÜCKER, W. Erschütterungen infolge Schienenverkehr: Theoretische and meßtechnische Untersuchungen zur Emission, zur Ausbreitung durch den Boden and zur Übertragung im Gebäude. STUVA Report No. 19 (series Verminderung des Verkehrslärms in Städten and Gemeinden, Teilprogramm Schienennahverkehr), 1986.
- [50] SISKIND, D.E. and STAGG, M.S. Blast vibration measurements near and on structure foundations. Report of Investigations RI 8969, US Bureau of Mines, 1985.