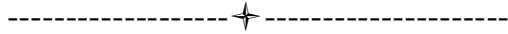


BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC XÂY DỰNG



LÊ CÔNG DUY

**MỘT PHƯƠNG PHÁP ĐÁNH GIÁ MỨC ĐỘ AN TOÀN
CỦA KẾT CẤU KHUNG CHỊU TẢI TRỌNG ĐỘNG
THEO LÝ THUYẾT TẬP MỜ**

Chuyên ngành : Kỹ thuật xây dựng công trình dân dụng và công nghiệp

Mã số 62.58.02.08

LUẬN ÁN TIẾN SỸ KỸ THUẬT

Hà Nội — 2014

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC XÂY DỰNG



LÊ CÔNG DUY

**MỘT PHƯƠNG PHÁP ĐÁNH GIÁ MỨC ĐỘ AN TOÀN
CỦA KẾT CẤU KHUNG CHỊU TẢI TRỌNG ĐỘNG
THEO LÝ THUYẾT TẬP MỜ**

Chuyên ngành : Kỹ thuật xây dựng công trình dân dụng và công nghiệp
Mã số 62.58.02.08

LUẬN ÁN TIẾN SỸ KỸ THUẬT

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC
GS.TS. LÊ XUÂN HUỲNH

Hà Nội — 2014

MỞ ĐẦU

1. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài nghiên cứu

. **Ý nghĩa khoa học:** Trong tính toán kết cấu thường gặp những đại lượng đầu vào thuộc về kết cấu và tác động hàm chứa các thông tin ngẫu nhiên, không rõ ràng, không thể chính xác hóa, các đại lượng đó được gọi là các đại lượng không chắc chắn. Từ trước đến nay chúng ta thường tính toán kết cấu công trình theo ứng suất cho phép và theo trạng thái giới hạn. Tính toán theo các phương pháp này chưa phản ánh được toàn diện sự làm việc của kết cấu vì chưa kể đến sự ảnh hưởng của các yếu tố mang tính chất ngẫu nhiên, mang tính không rõ ràng hay nói cách khác là chưa kể đến các yếu tố mang tính chất không chắc chắn tác động đến kết cấu, cho nên nhiều trường hợp trong thực tế công trình vẫn xảy ra hư hỏng mặc dù khi tính toán kết cấu công trình với hệ số an toàn tương đối lớn.

Để mô tả những đại lượng không chắc chắn, người ta dùng số khoảng, đại lượng ngẫu nhiên, số mờ, đại lượng ngẫu nhiên-mờ. Những đại lượng không chắc chắn được biểu diễn dưới dạng đại lượng ngẫu nhiên được tính toán theo mô hình ngẫu nhiên. Phân tích đánh giá kết cấu theo mô hình ngẫu nhiên bằng lý thuyết độ tin cậy đã có nhiều nghiên cứu. Trong trường hợp các đại lượng không chắc chắn mô tả dưới dạng số mờ, việc phân tích đánh giá phải thực hiện theo mô hình mờ. Mô hình mới này trong lĩnh vực xây dựng đã có những kết quả bước đầu. Tuy vậy, do tính chất và hình thức mô tả đại lượng không chắc chắn rất gần với thực tế nên hiện nay mô hình này được các nhà nghiên cứu quan tâm phát triển. Đề tài luận án liên quan đến hai nội dung của mô hình mới này, đó là *phân tích trạng thái kết cấu và đánh giá mức độ an toàn của kết cấu trong trường hợp một số đại lượng không chắc chắn ở đầu vào của bài toán được mô tả dưới dạng các số mờ.*

. **Ý nghĩa thực tiễn:** Mức độ an toàn của kết cấu là vấn đề đặc biệt được quan tâm trong công tác thiết kế tính toán kết cấu công trình. Hiện nay trên thế giới cũng như ở Việt Nam công trình nhà nhiều tầng được xây dựng ngày càng nhiều mà sự dao động của công trình làm ảnh hưởng đến việc sử dụng và sinh hoạt của con người. Vì vậy việc nghiên cứu các phương pháp đánh giá mức độ an toàn cho các kết cấu nói chung và khung nhà nhiều tầng nói riêng là một vấn đề rất cần được quan tâm. Trên cơ sở đánh giá mức độ an toàn của kết cấu có thể tham khảo để điều chỉnh các tham số thiết kế sao cho dao động của công trình thỏa mãn các tiêu chuẩn kỹ thuật và tiêu chuẩn sử dụng của con người.

2. Mục tiêu và nội dung nghiên cứu của đề tài

a. Mục tiêu nghiên cứu của đề tài

Nghiên cứu ứng dụng lý thuyết tập mờ, *đề xuất một cách giải phương trình cơ bản của phương pháp PTHH có tham số đầu vào mờ, đồng thời vận dụng và chứng minh một công thức đánh giá độ tin cậy mờ của kết cấu và áp dụng tính toán đối với khung nhiều tầng chịu tải trọng động trong trường hợp các yếu tố tác động đến kết cấu như độ cản của kết cấu, các đặc trưng vật liệu và đặc trưng của tải trọng động (biên độ và tần số) được xét dưới dạng các số mờ tam giác*

b. Nội dung nghiên cứu của đề tài

. Vận dụng cơ sở lý thuyết tập mờ, các thuật toán hỗ trợ cho việc tính toán các số mờ, kết hợp với phần mềm Maple.13 tính toán số mờ.

. Nghiên cứu phân tích các phương pháp đánh giá mức độ an toàn cho kết cấu theo các quan điểm ngẫu nhiên của lý thuyết xác suất và quan điểm của lý thuyết tập mờ, từ đó triển khai và chứng minh một công thức đánh giá mức độ an toàn cho kết cấu theo lý thuyết tập mờ.

. Nghiên cứu phương pháp phân tử hữu hạn trong trường hợp có tham số mờ, đồng thời đề xuất một cách giải phương trình đại số tuyến tính có tham số mờ. Ứng dụng cách giải để giải phương trình của phương pháp

phần tử hữu hạn phân tích kết cấu chịu tải trọng tĩnh có tham số đầu vào dạng số mờ tam giác.

. Nghiên cứu mô hình tính kết cấu khung chịu tải trọng động, thiết lập phương trình dao động cho kết cấu khung phẳng nhiều tầng chịu tải trọng động trong trường hợp có tham số đầu vào mờ. Ứng dụng công thức triển khai để đánh giá mức độ an toàn cho kết cấu khung trong trường hợp các yếu tố đầu vào của kết cấu như đặc trưng vật liệu, khối lượng, độ cứng của kết cấu và đặc trưng của tải trọng động được mô phỏng là các số mờ dạng tam giác; việc tính toán và so sánh kết quả với một số phương pháp đánh giá khác cũng được trình bày trong luận án.

3. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu bằng lý thuyết kết hợp với ứng dụng tính toán số trên máy tính. Về lý thuyết, thu thập tài liệu trong nước và nước ngoài về vấn đề tính mức độ an toàn cho kết cấu theo các mô hình ngẫu nhiên và mô hình mờ. Nghiên cứu áp dụng lý thuyết tập mờ mô phỏng tải trọng động và hệ số cản của kết cấu là các số mờ. Nghiên cứu lý thuyết áp dụng giải bài toán chịu tải trọng động trong trường hợp có tham số mờ. Sử dụng phần mềm Maple.13 để xây dựng các bước giải phương trình đại số tuyến tính có tham số mờ và áp dụng giải bài toán phân tích tĩnh và động kết cấu bằng phương pháp PTHH có tham số mờ.

4. Cấu trúc của luận án

Luận án gồm có : Phần mở đầu, 4 chương, phần kết luận, danh mục tài liệu tham khảo và phụ lục tính toán.

Trong phần *mở đầu* của luận án trình bày ý nghĩa khoa học , ý nghĩa thực tiễn của đề tài nghiên cứu, mục tiêu, nội dung nghiên cứu, phương pháp nghiên cứu và cấu trúc của luận án.

Chương 1 trình bày tổng quan về lý thuyết đánh giá mức độ an toàn của kết cấu trên thế giới và ở Việt Nam, đồng thời phân tích một số các mô hình đánh giá mức độ an toàn của kết cấu công trình đã được công bố theo

các quan điểm ngẫu nhiên của lý thuyết xác suất và theo quan điểm mờ của lý thuyết tập mờ, từ đó định hướng và giới hạn phạm vi cho việc nghiên cứu giải quyết các mục tiêu đã xác định trong luận án.

Chương 2 trình bày nội dung cơ bản về lý thuyết tập mờ, các thuật toán của số học mờ được dùng để tính toán các số mờ. Từ đó đề xuất một cách giải phương trình đại số có tham số mờ đồng thời áp dụng cách giải để giải phương trình của phương pháp phân tử hữu hạn có tham số mờ. Ứng dụng tính toán kết cấu thanh phẳng một chiều và khung phẳng chịu tải trọng tĩnh với các tham số mờ là đặc trưng hình học, đặc trưng vật liệu và đặc trưng của tải trọng tác động được xét dưới dạng các số mờ tam giác.

Chương 3 trình bày ý tưởng và vận dụng triển khai một công thức đánh giá mức độ an toàn của kết cấu theo lý thuyết tập mờ. Công thức đánh giá được triển khai và chứng minh trong trường hợp tổng quát với hai tập mờ dùng để đánh giá có hàm thuộc dạng bất kỳ, và trường hợp hai tập mờ có hàm thuộc dạng tam giác. Chương 3 cũng trình bày một số phương pháp xây dựng hàm thuộc cho các đại lượng mờ trên cơ sở lý thuyết tập mờ, và ứng dụng phương pháp xây dựng hàm thuộc cho đặc trưng tải trọng động và hệ số cản của kết cấu theo lý thuyết tập mờ.

Chương 4 trình bày một mô hình tính kết cấu khung chịu tải trọng động trong trường hợp có tham số mờ, và ứng dụng công thức đề xuất để đánh giá mức độ an toàn cho kết cấu khung phẳng nhiều tầng chịu tải trọng động trong trường hợp các yếu tố đầu vào của kết cấu như đặc trưng vật liệu, khối lượng, độ cản của kết cấu và đặc trưng tải trọng động được xét dưới dạng là các tập mờ tam giác, đồng thời tính toán và so sánh kết quả với một vài phương pháp đánh giá khác được trình bày trong luận án.

Trong phần *kết luận* nêu lên các kết quả chính và các đóng góp mới của luận án. Cuối kết luận nêu định hướng nghiên cứu tiếp theo.

Phần *phụ lục* trình bày các bước tính toán chi tiết của phần ứng dụng trong luận án, giới thiệu chương trình máy tính hỗ trợ cho việc tính toán và các kết quả trong luận án.

CHƯƠNG 1

TỔNG QUAN VỀ VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

1.1. Tổng quan về lý thuyết đánh giá mức độ an toàn của kết cấu

Mức độ an toàn hay độ tin cậy của kết cấu công trình nói riêng và của sản phẩm bất kỳ nào đó nói chung là vấn đề quan trọng hàng đầu. Công trình hay sản phẩm phải đáp ứng các tiêu chuẩn và tiêu chí đặt ra nhằm đảm bảo chất lượng cho sản phẩm hay công trình không bị hư hỏng, không bị phá hỏng khi đưa vào sử dụng hoặc trong quá trình sử dụng.

Mức độ an toàn hay độ tin cậy của công trình là một trong các tiêu chí chất lượng quan trọng của bất kỳ hệ thống kỹ thuật nào. Vì vậy, đánh giá mức độ làm việc an toàn của kết cấu công trình là một trong những nhiệm vụ quan trọng nhất của công tác thiết kế và chẩn đoán kỹ thuật. Nội dung đánh giá dẫn đến dạng bài toán so sánh hai tập hợp. Tập thứ nhất (Q) chứa các thông tin đặc trưng cho trạng thái làm việc của kết cấu thường gọi là tập hiệu ứng tải trọng của kết cấu và tập thứ hai (R) chứa các thông tin đặc trưng năng lực của kết cấu thường gọi là tập khả năng của kết cấu, được thiết kế theo một tiêu chuẩn chất lượng nào đó.

Đánh giá mức độ an toàn hay độ tin cậy của kết cấu có thể được xác định bằng thử nghiệm [37]. Các bộ phận của hệ cũng như toàn hệ sẽ được thử nghiệm cho đến khi xuất hiện sự cố hư hỏng, phá hủy. Thời gian xuất hiện sự cố hư hỏng, loại sự cố hư hỏng và thời gian gia cố sửa chữa được lưu lại. Các thông tin về thời gian sử dụng thông thường cũng được lưu lại và đưa vào cơ sở dữ liệu. Sau đó quá trình phân tích thống kê được sử dụng để xác định độ tin cậy của toàn hệ, ước lượng rủi ro và nâng cao độ tin cậy cho hệ. Thực tế thì thiết kế kỹ thuật đã có những bước phát triển đáng kể và đã có một phương pháp tính toán thiết kế mới đó là phương pháp thiết kế theo độ tin cậy với sự hỗ trợ bởi các phương pháp mô phỏng và tổng hợp

hiện đại. Theo phương pháp này thì độ tin cậy có thể được tính toán thông qua các công thức và quá trình mô phỏng bằng máy tính để xác định trạng thái hư hỏng của hệ kết cấu. Tuy nhiên, tùy thuộc vào điều kiện cho phép trong thực tế, để đánh giá mức độ an toàn cho hệ kết cấu nào đó ta có thể kết hợp cả hai phương pháp phân tích độ tin cậy theo mô hình kiểm nghiệm, thử nghiệm và theo mô hình mô phỏng tính toán trên máy tính thì kết quả tính toán sẽ phản ánh sát thực sự làm việc thực tế của hệ kết cấu.

Bài toán đánh giá mức độ an toàn của kết cấu đến nay đã được thực hiện với ba mô hình tính toán khác nhau, đó là *mô hình tiên định*, *mô hình ngẫu nhiên* và *mô hình mờ*. Trong đó việc đánh giá mức độ an toàn của kết cấu theo mô hình tiên định được thực hiện một cách đơn giản thông qua tỷ số $n = R/Q$ hoặc hiệu số $M = R - Q$. Theo cách đánh giá của mô hình tiên định thì kết cấu nói riêng hay một sản phẩm bất kỳ nào đó nói chung sẽ hoàn toàn không bị hư hỏng hay phá hủy khi $n > 1$ hoặc $M > 0$, nghĩa là kết cấu hay sản phẩm an toàn và đảm bảo 100% chất lượng. Ngược lại khi $n < 1$ hoặc $M < 0$ thì không an toàn, hay xem như hoàn toàn bị phá hỏng. Tồn tại một trạng thái phân chia giữa an toàn và không an toàn khi $n = 1$ hoặc $M = 0$, cách đánh giá chỉ mang tính lý thuyết, không phản ánh được toàn diện sự làm việc thực tế của kết cấu, bởi chưa kể đến đầy đủ sự ảnh hưởng của các yếu tố mang tính ngẫu nhiên, tính không chắc chắn trong bài toán đánh giá mức độ an toàn của kết cấu. Trong thực tế kết cấu vẫn có thể xảy ra sự cố ngay cả khi lấy hệ số an toàn lớn, do chưa đánh giá đúng mức độ tàn mát của các biến thiết kế. Từ đó ta có nhận xét phương pháp đánh giá mức độ an toàn của kết cấu theo mô hình tiên định chưa đủ khả năng lượng hóa được xác suất hỏng của hệ kết cấu do ảnh hưởng sự biến động của các biến thiết kế. Để có thể đánh giá mức độ an toàn của kết cấu một cách toàn diện hơn khi kể đến sự ảnh hưởng của các yếu tố mang tính ngẫu nhiên, ta dùng lý thuyết độ tin cậy được xác định theo các công thức toán học của xác suất thống kê. Tuy nhiên trong trường hợp thiếu thông tin hay thông tin không rõ ràng, không chắc chắn có thể dùng các mô hình đánh giá mức độ an

toàn của kết cấu theo quan điểm mờ có cơ sở toán của lý thuyết tập mờ.

1.2. Quá trình nghiên cứu tính toán kết cấu theo lý thuyết độ tin cậy trên thế giới và ở Việt Nam

Lý thuyết độ tin cậy ra đời từ những năm đầu của thập niên 30 và được ứng dụng trước tiên trong các lĩnh vực kỹ thuật điện tử, kỹ thuật máy tính, chế tạo máy bay và tên lửa,... Hướng nghiên cứu độ tin cậy tính toán cho kết cấu công trình cũng được áp dụng kể từ năm 1930, các hệ kết cấu được mô hình hóa dưới dạng các sơ đồ tương tự như sơ đồ của hệ thống điện bao gồm các hệ mắc song song, mắc nối tiếp và hỗn hợp để tính độ tin cậy cho kết cấu. Tuy nhiên trong thực tế các hệ kết cấu rất phức tạp, mối liên hệ giữa các yếu tố được biểu diễn dưới dạng phương trình vi phân hoặc đại số cho nên chỉ mô hình hóa sơ đồ kết cấu dưới dạng các sơ đồ điện không phải lúc nào cũng phản ánh đúng sự làm việc thực tế của hệ, dẫn đến kết quả còn hạn chế. Chính vì vậy, độ tin cậy của kết cấu công trình được chuyển sang một hướng nghiên cứu khác. Đó là căn cứ vào đặc điểm của kết cấu, các thành tựu của máy tính và các phương pháp số để tính độ tin cậy của hệ kết cấu.

Lý thuyết độ tin cậy là một “*công cụ hữu hiệu*” dùng để đánh giá mức độ an toàn cho các hệ kết cấu nói riêng và cho bất kỳ một hệ thống kỹ thuật nói chung, vì lý do đó, các nhà nghiên cứu trong và ngoài nước đã rất quan tâm nghiên cứu về lĩnh vực này, nhiều công trình nghiên cứu về độ tin cậy được công bố cho đến nay. Mayer và Khoialốp là các tác giả đã có các công trình công bố về độ tin cậy đầu tiên trên thế giới, trong đó độ tin cậy được thể hiện đơn giản dưới dạng ứng suất cho phép và hệ số an toàn. Năm 1935 Xtrelxky H.C là người bắt đầu ứng dụng các phương pháp thống kê toán học vào cơ học kết cấu. Tác giả đã trình bày một cách có hệ thống quan niệm thiết kế độ tin cậy công trình. Tuy hệ thống các quan niệm không được trình bày một cách tường minh nhưng quan niệm thống kê đã được phản ánh trong phương pháp luận tính toán theo trạng thái giới hạn.

Những công trình nghiên cứu đặt nền móng cho lý thuyết độ tin cậy của kết cấu công trình xây dựng bắt đầu từ các nhà cơ học Xô Viết, và việc nghiên cứu tiếp tục được mở rộng ở các nước Liên Xô cũ và các nước ở Châu Âu,... Ở Mỹ, lý thuyết độ tin cậy đã được tách ra thành một môn học riêng vào đầu những năm 1950, Freudenthal và Pugsley là những người đầu tiên có đóng góp giải quyết bài toán độ tin cậy của kết cấu chịu tải trọng tĩnh, từ đó nghiên cứu đưa ra mô hình thống kê cho tuổi thọ của các kết cấu chịu tải trọng động. Các nghiên cứu và ứng dụng lý thuyết độ tin cậy ngày càng phát triển tăng cả về số lượng và chất lượng cho đến những năm của thập niên cuối thế kỷ XX, các nghiên cứu và ứng dụng trong giai đoạn này đã chú ý đến sự ngẫu nhiên của các yếu tố tác động lên kết cấu công trình.

Một lĩnh vực quan trọng và có nhiều ứng dụng trong thực tiễn là sử dụng lý thuyết độ tin cậy trong việc lập và cải tiến các tiêu chuẩn thiết kế. Các quan niệm tính toán theo ứng suất cho phép và trạng thái giới hạn đều mang ý tưởng của lý thuyết độ tin cậy nhưng cách đánh giá và tính toán đơn giản cho nên kết quả vẫn còn nhiều hạn chế. Lý thuyết độ tin cậy được sử dụng làm nền tảng trong việc cải tiến và xây dựng các tiêu chuẩn thiết kế, các nghiên cứu trong lĩnh vực này ngày càng được phát triển và đã có nhiều quy định về thiết kế công trình theo độ tin cậy trong các tiêu chuẩn thiết kế cụ thể là tiêu chuẩn quốc tế ISO 2394:1998-Nguyên tắc chung về độ tin cậy của kết cấu; Tiêu chuẩn về độ tin cậy của Trung quốc gồm có *tiêu chuẩn thống nhất để thiết kế công trình theo độ tin cậy JB50153-92* và *tiêu chuẩn thẩm định nhà nguy hiểm JGJ125-99*,...Ủy ban liên hiệp về sự an toàn của kết cấu (Joint Committee on Structural Safety) đã thống nhất tính toán độ tin cậy của kết cấu theo 3 mức độ: Mức 1, 2 và mức 3.

Các phương pháp mức 1: Là các phương pháp tính toán thiết kế kết cấu trong đó mức độ an toàn của kết cấu được xác định trên các phần tử kết cấu bằng cách sử dụng một số hệ số thành phần có liên quan đến biến tác động và biến sức bền như hệ số an toàn, hệ số đồng nhất vật liệu, hệ số