

MỘT PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH MỜ KẾT CẤU

GS. TS. NGUYỄN VĂN PHÓ

Trường Đại học Xây dựng

ThS. NGUYỄN XUÂN AN

Ban Công nghệ Thông tin, Hàng không Việt Nam

1. Mở đầu

Cho đến nay đã có các phương pháp phân tích kết cấu khác nhau để thiết kế, đánh giá an toàn công trình.

Do đặc điểm và tính chất của các tham số tham gia bài toán mà người ta sử dụng các phương pháp toán học khác nhau.

Theo các công cụ toán học sử dụng, ta có thể phân ra: phân tích tất định (deterministic analysis); phân tích ngẫu nhiên (stochastic analysis) và phân tích mờ (fuzzy analysis) [1, 2, ...].

Trong phân tích tất định, người ta thừa nhận các tham số là các đại lượng tất định, nghĩa là không tính đến các sai lệch ngẫu nhiên. Với mô hình tất định người ta dùng công cụ toán học chính xác (đại số, phương trình vi phân, các phương pháp số thông dụng...) để phân tích kết cấu. Nó là mô hình lý tưởng, ít xảy ra trong thực tế.

Trong trường hợp có các tham số ngẫu nhiên tham gia bài toán (tải trọng, vật liệu, hình học), để phân tích người ta phải dùng công cụ xác suất thống kê và quá trình ngẫu nhiên. Trong phân tích ngẫu nhiên, một yêu cầu đặt ra là phải xác định các đặc trưng bằng số của các đại lượng ngẫu nhiên hay các quá trình ngẫu nhiên (kỳ vọng, phương sai, dừng, không dừng...). Để có các đặc trưng ngẫu nhiên thì phải xử lý số liệu thực nghiệm, nhiều trường hợp trong thực tế không đủ số liệu, chỉ ước lượng được nằm trong một khoảng nào đó, mà không rõ phân bố, mơ hồ về giá trị... nghĩa là mờ (fuzzy). Trong các trường hợp đó phải phân tích kết cấu mờ, công cụ toán học là lý thuyết tập mờ hoặc các lý thuyết toán với thông tin không chính xác (uncertainly) [3, 4, ...].

Lớp bài toán như vậy thường gặp trong nghiên cứu các công trình chịu thiên tai bất thường do biến đổi khí hậu, chẩn đoán kỹ thuật công trình thiếu số liệu, đánh giá an toàn của công trình do bom đạn bất ngờ...

Một trong những mục tiêu chính của phân tích kết cấu là đánh giá mức độ an toàn.

Trong phân tích tất định, đánh giá an toàn bằng các bất đẳng thức tất định. Chẳng hạn, kiểm tra bền thì dùng:

$$\delta_{max} \leq [\delta] = \frac{\delta_0}{n} \quad (1)$$

Trong đó: δ_{max} - ứng suất kéo cực đại, $[\delta]$ - ứng suất cho phép, δ_0 - ứng suất chảy của vật liệu, n - hệ số an toàn.

Trong phân tích ngẫu nhiên (1) được thay bởi:

$$P(\delta_{max} \leq \delta_0) \leq [P] \quad (2)$$

Trong đó xác suất cho phép $[P]$ được xác định theo các tiêu chuẩn thiết kế [5, 6]; δ_{max} là một hàm ngẫu nhiên, δ_0 là một đại lượng ngẫu nhiên được xác định bằng thực nghiệm, có thể tìm xác suất (2) theo các phương pháp lý thuyết độ tin cậy [7, 8, 9, ...].

Trường hợp có biến mờ tham gia thì (2) được tính theo các phương pháp của phân tích độ tin cậy mờ.

Trong tình hình biến đổi khí hậu hiện nay, các số liệu về tự nhiên trong thời gian qua là không đủ tin cậy, các số liệu mới thì thiếu hoặc biến thiên bất thường.

Vì vậy, nghiên cứu phương pháp phân tích mờ kết cấu là điều cần thiết và cấp bách. Hiện nay đã có một số công trình nghiên cứu về phân tích mờ kết cấu [10, 11, 12, 13, 14, ...]. Trong đó người ta chấp nhận trước đầu ra là một đại lượng mờ có dạng hàm thuộc (membership function) cho trước, song còn chứa một số hằng số chưa xác định (tam giác, hình thang, hình quả chuông, v.v.), từ đó dùng nguyên lý mở rộng của Lotfi Zadeh [15], dẫn tới bài toán cực trị, giải bài toán cực trị ta tìm được đầu ra.

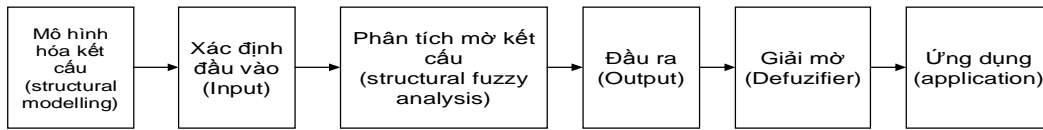
Trong bài viết này các tác giả đề xuất một phương pháp phân tích mờ kết cấu, trong đó không giả thiết trước dạng hàm thuộc của đầu ra, không thành lập bài toán cực trị, mà sử dụng ý tưởng "hồi

quy” (regression), nhờ vào việc xác định các tổ hợp khả dĩ của đầu vào mờ cho quá trình phân tích (đầu vào mờ chuyên về đầu vào là một tập hợp các tổ hợp nhất định).

Để minh họa cho phương pháp đề xuất, một thí dụ đơn giản đã được xét.

2. Sơ đồ phân tích mờ kết cấu

Mờ rộng kết quả trong [14], sơ đồ phân tích mờ kết cấu được trình bày chi tiết hơn như sau:



Hình 1. Sơ đồ phân tích mờ kết cấu

3. Mô hình hóa kết cấu

Mô hình hóa kết cấu là khâu quan trọng của quá trình phân tích, song chưa được chú ý khi đào tạo kỹ sư xây dựng. Nếu mô hình hóa không chính xác thì chắc chắn kết quả phân tích không đáng tin cậy.

Từ một kết cấu thực hay một công trình giả định (trên bản vẽ của các kiến trúc sư), để đưa vào tính toán kiểm tra cần mô hình hóa thành một sơ đồ đơn giản hơn, chỉ giữ lại những nét cơ bản của hệ thực.

Chẳng hạn một ngôi nhà nhiều tầng được mô hình hóa thành một khung nhiều tầng trong tính toán nội lực, thành một công-xôn trong tính toán dao động đo động đất...

Trong mô hình hóa kết cấu, ta phải xác định các tham số: tải trọng, hình học, vật liệu,... các tham số này thường có 3 dạng: tất định, ngẫu nhiên và mờ. Chúng là đầu vào cho quá trình tính toán.

3.1. Đầu vào

Các tham số: tất định, ngẫu nhiên và mờ chứa trong mô hình phải được xác định rõ các đặc trưng. Chẳng hạn, đại lượng tất định được xác định bởi một giá trị; đại lượng ngẫu nhiên được xác định bởi các đặc trưng bằng số (kỳ vọng, phương sai hay hàm mật độ), đại lượng mờ xác định bởi hàm thuộc.

3.2. Phân tích mờ kết cấu

Phương pháp phân tích mờ kết cấu dựa vào nguyên lý mờ rộng của Zadeh và luật hợp thành max-min của lý thuyết tập mờ đã được trình bày trong [4, 15,...].

Ở đây tác giả đề xuất một phương pháp khác, bằng cách dựa vào ý tưởng của phép “hồi quy”, thông qua các phương pháp phân tích kết cấu thông thường.

Quá trình phân tích được cụ thể như sau:

- Xác định đầu vào cho quá trình phân tích [14]. Rời rạc hóa các biến ngẫu nhiên và mờ, căn cứ theo hàm mật độ hay hàm thuộc để xác định số lần xuất hiện của từng giá trị rời rạc trong quá trình tính toán (hồi quy); xác định các tổ hợp khả dĩ của đầu vào cho quá trình phân tích.

- Phân tích theo chương trình chọn thích hợp, một tổ hợp đầu vào ta có một giá trị đầu ra. Đầu ra có thể chọn là: cường độ ứng suất cực đại, chuyển vị cực đại, tải trọng giới hạn (trong bài toán ổn định hay phân tích giới hạn), quãng an toàn (trong bài toán độ tin cậy) v.v.. như vậy ta có một tập đầu ra tương ứng với tập các tổ hợp đầu vào.

3.3. Đầu ra

Đầu ra là một đại lượng mờ, căn cứ theo kết quả phân tích để xác định tần suất xuất hiện của các giá trị đầu ra, từ đó thành lập hàm thuộc của đầu ra.

3.4. Giải mờ

Giải mờ là tìm một giá trị xác định đại diện cho đại lượng mờ, để ứng dụng trong thực tế. Do đó, giải mờ tùy thuộc vào mục đích của người phân tích. Có thể giải mờ theo các phương pháp: phương pháp cực đại, phương pháp điểm trọng tâm v.v...[16,17].

Xác định độ tin cậy cũng là một phương pháp giải mờ. Vì rằng xác suất tin cậy mờ phụ thuộc vào các biến ngẫu nhiên và biến mờ. Song, sau khi tính toán thì xác suất tin cậy là một số xác định (tất định) trong đoạn [0,1]. Dùng độ tin cậy để đánh giá độ an toàn của kết cấu.

3.5. Ứng dụng

Sau khi giải mờ, kết quả mờ trở thành kết quả tất định, kết quả tất định được đưa vào ứng dụng theo mục đích thông thường.

4. Thuật toán và chương trình

Trong phần này trình bày chi tiết hơn thuật toán và chương trình của phương pháp phân tích.

4.1. Xác định các tổ hợp tải định khả dĩ của đầu vào mờ

Trong [14] tác giả đã trình bày ý chính để xác định đầu vào cho quá trình phân tích mờ, trong đó lưu ý nhiều đến xác định tải trọng mờ, sau đây xin trình bày chi tiết hơn về xác định các tổ hợp khả dĩ của giá trị đầu vào mờ.

- Đại lượng tải định được xác định bởi một giá trị, giá trị này có mặt trong mọi tổ hợp.
- Đại lượng ngẫu nhiên được xác định bởi hàm mật độ xác suất, giá trị cực đại của hàm mật độ được tính N lần, tại các giá trị rời rạc có giá trị hàm mật độ là $f(x_i)$ thì giá trị x_i được tính $f(x_i) \cdot N$ lần (lấy số tròn, nguyên).
- Đại lượng mờ cũng làm tương tự như đại lượng ngẫu nhiên, song hàm mật độ được thay đổi bởi hàm thuộc.
- Thành lập các tổ hợp khả dĩ của đầu vào: sau khi xác định được số lần xuất hiện trong quá khứ tính toán của từng giá trị rời rạc, ta có một tập hợp khả dĩ các giá trị biến đầu vào. Tiếp theo, ta tiến hành đánh số các giá trị (trong đó có nhiều giá trị bằng nhau vì xuất hiện nhiều lần, được đánh số khác nhau).

Thành lập các tổ hợp khả dĩ của các biến đầu vào theo nguyên tắc sau: “Trong mỗi tổ hợp mà các giá trị được đánh số của biến đầu vào chỉ được xuất hiện một lần, các biến tải định có mặt trong mọi tổ hợp”.

4.2. Phân tích hồi quy

Với một tổ hợp đầu vào ta có một giá trị đầu ra, như vậy ta có một tập hợp các giá trị đầu ra cùng với tần suất xuất hiện các giá trị đó.

Phép phân tích ở đây được thực hiện theo các thuật toán phân tích kết cấu thông thường do người phân tích chọn. Do đó, khi muốn phân tích theo tiêu chuẩn nào thì chọn chương trình thích hợp với tiêu chuẩn đó.

4.3. Đầu ra

Nói chung đầu ra là một đại lượng mờ, căn cứ vào giá trị đầu ra và tần suất xuất hiện tương ứng ta lập được biểu đồ tổ chức (tương tự trong lý thuyết thống kê), từ đó xác định được hàm thuộc của đầu ra.

Chú ý rằng hàm thuộc có giá trị cực đại bằng đơn vị, trong khi biểu đồ tổ chức có cực đại có thể khác 1. Do đó, ta phải tiến hành phép co hoặc giãn để có hàm thực [18].

4.4. Giải mờ

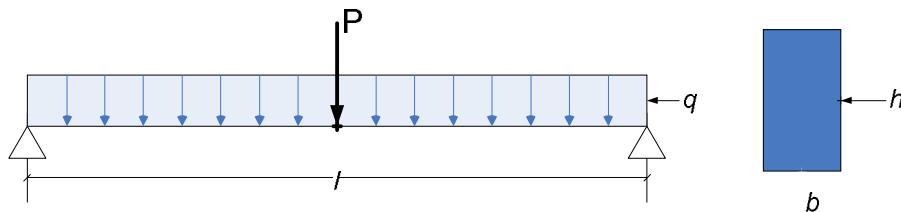
Giải mờ theo các phương pháp quen thuộc [16], hay tính độ tin cậy mờ [18]. Như vậy, về thuật toán và chương trình phục vụ việc phân tích gồm:

- Thuật toán và chương trình xác định các tổ hợp khả dĩ đầu vào cho quá trình hồi quy (thuật toán mới);
- Thuật toán và chương trình phân tích kết cấu (có thể dùng các thuật toán quen thuộc, song phải chọn đầu ra thích hợp);
- Thuật toán và chương trình xác định hàm thuộc của đầu ra;
- Thuật toán và chương trình giải mờ.

Ta nối ghép các chương trình trên một cách hợp lý để có chương trình phân tích.

5. Thí dụ

Xét một dầm đơn tiết diện hình chữ nhật, chịu tải phân bố đều q và tải trọng tập trung ở giữa nhịp P , chiều dài là l (hình 3).



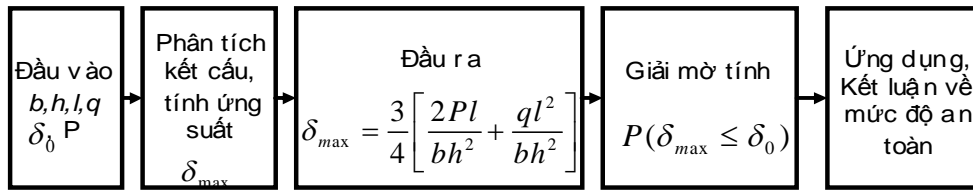
Hình 3. Hình dầm chịu uốn bởi P và q

Cho các tham số tính toán:

- Tải trọng: P, q ;
- Hình học: l – chiều dài nhịp;
 b, h – kích thước tiết diện ngang;
- Vật liệu: E - modul đàn hồi;

δ_0 - ứng suất chày dẻo.

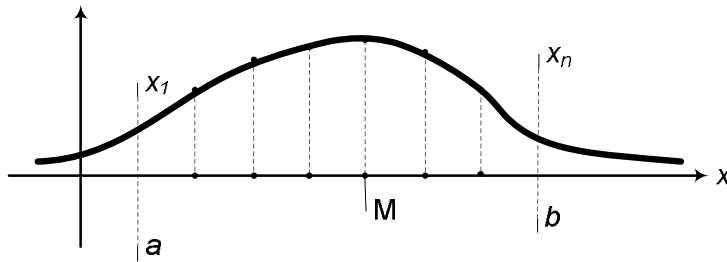
Giả thiết: b, h, l, q là các đại lượng tất định; δ_0 là đại lượng ngẫu nhiên chuẩn; P là số mờ, thuộc hàm tam giác. Ta lập sơ đồ phân tích:



Hình 4. Sơ đồ phân tích dầm đơn chịu uốn

5.1. Xác định số lần xuất hiện của các tham số đầu vào

- l, b, h, q chỉ có một giá trị, có mặt một lần trong mọi tổ hợp;
- δ_0 là đại lượng ngẫu nhiên chuẩn có hàm mật độ $f(x)$.



Hình 5. Hàm mật độ của δ_0

Rời rạc hóa δ_0 tại n điểm $x_1 = a, x_2 = a + \theta, x_3 = a + 2\theta, \dots, x_n = b$.

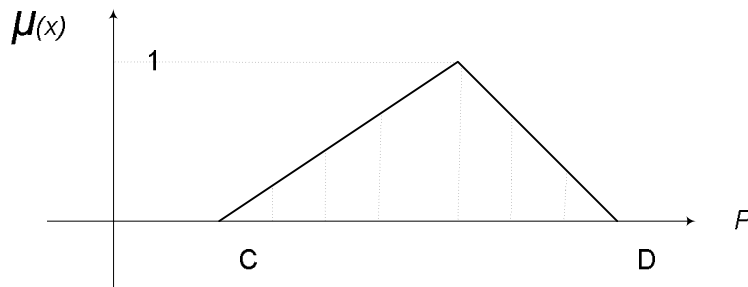
Tại điểm M có hàm mật độ lớn nhất (điểm kỳ vọng) $f(x_M) = \max f(x)$

Ta chọn số lần xuất hiện x_M trong sơ đồ tính toán là N lần. N được chọn lớn hay bé là tùy theo khả năng tính toán và sao cho $x_1 = a$ xuất hiện 1 lần, $x_n = b$ xuất hiện 1 lần.

Số lần xuất hiện của các điểm rời rạc trung gian được xác định như sau:

Tại x_i số lần xuất hiện là n_i , có hàm mật độ $f(x_i)$ thì $n_i =$ số tròn và nguyên của $[f(x_i) \cdot N]$.

P là số mờ thuộc hàm tam giác (hình 6).



Hình 6. Hàm thuộc của P

Việc xác định số lần xuất hiện các giá trị rời rạc của P được thực hiện hoàn toàn tương tự như đối với các đại lượng ngẫu nhiên δ_0 , song trong đó hàm mật độ $f(x)$ được thay bởi hàm thuộc $\mu(x)$.

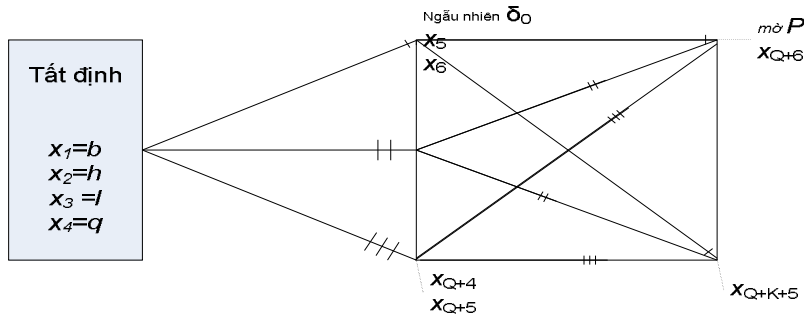
Như vậy ta có tập hợp các giá trị rời rạc của các tham số đầu vào và số lần xuất hiện của chúng trong sơ đồ phân tích hồi quy.

5.2. Xác định tập các tổ hợp vào khả dĩ

Ta chú ý rằng một tham số đầu vào có thể có nhiều giá trị rời rạc, mỗi giá trị rời rạc lại xuất hiện nhiều lần.

Thực hiện tổ hợp theo quy luật:

- Mỗi tham số đầu vào chỉ được phép xuất hiện một lần trong một tổ hợp với giá trị xác định.
 - Do một giá trị đầu vào có thể xuất hiện nhiều lần trong sơ đồ tính toán, các lần khác nhau được coi như có các giá trị khác nhau
 - Đại lượng tất định chỉ có một giá trị, song được có mặt (1 lần) trong mọi tổ hợp khả dĩ.
- Sơ đồ tổ hợp có thể minh họa như sau:



Hình 7. Sơ đồ các tổ hợp khả dĩ đầu vào

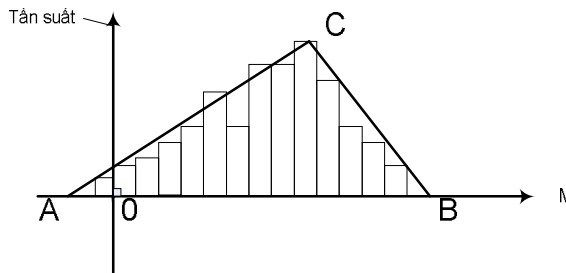
Ta đánh số các đại lượng tất định: $x_1=b, x_2=h, x_3=l, x_4=q$;
 Đại lượng ngẫu nhiên δ_0 xuất hiện Q lần, được đánh số từ x_5, \dots, x_{Q+5}
 Đại lượng mờ P xuất hiện K lần, được đánh số từ x_{Q+6} đến x_{Q+K+5} .
 Bây giờ ta có thể liệt kê các tổ hợp như sau:

- Tổ hợp thứ nhất: $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_{Q+6}$
 - Tổ hợp thứ hai : $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_{Q+7}$
 - ...
 - Tổ hợp thứ K : $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_{Q+K+5}$
- } có K tổ hợp, do kết hợp giữa: tất định, x_5 và mờ.

Bây giờ ta thay x_5 bởi x_6 , ta cũng có K tổ hợp tương tự.
 Tiến hành tương tự thay x_5 từ x_6 đến x_{Q+5} (Q lần), mỗi lần ta có K tổ hợp, Q lần ta có: (K.Q) tổ hợp.
 Như vậy ta dễ dàng liệt kê K.Q tổ hợp khả dĩ.
 Nếu tham số đầu vào ngẫu nhiên (hoặc mờ) tăng lên thì số tổ hợp khả dĩ sẽ là một tích số lần xuất hiện của tham số đó.

5.3. Xác định đầu ra

Đầu ra là quãng an toàn $M = \delta_{\max} - \delta_0$.
 Dụng biểu đồ tần suất của M được tiến hành như sau:
 Từ các giá trị M thu được qua việc tính toán với các tổ hợp khả dĩ của đầu vào, ta xác định tần suất xuất hiện các giá trị rời rạc của M.
 Xây dựng biểu đồ tần suất của M (hình 8).

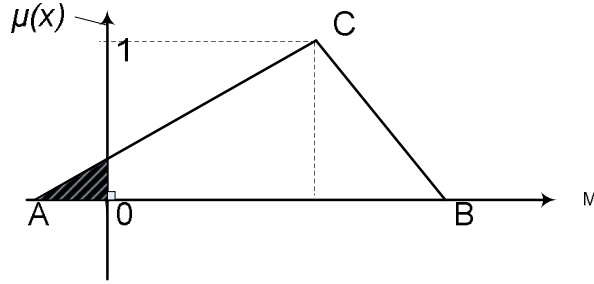


Hình 8. Biểu đồ tổ chức tần suất M

Xấp xỉ biểu đồ tần suất bằng một đường gấp khúc (có thể là tam giác, hình thang...). Chẳng hạn xấp xỉ bởi tam giác ABC.

5.4. Đánh giá độ tin cậy

Từ hàm tần suất, ta có hoặc dẫn để có được hàm thuộc của số mờ M, chẳng hạn là tam giác ABD. (vì hàm thuộc có giá trị cực đại bằng 1), hình 9.

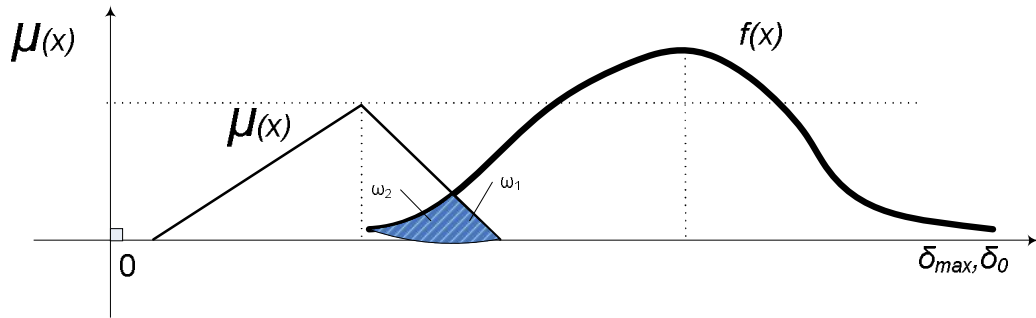


Hình 9. Hàm thực của M

Theo phương pháp đánh giá độ tin cậy mờ trình bày trong [18], ta có:

$$0 \leq P_f \leq S_{AOE}$$

Trong đó P_f là xác suất không an toàn, S_{AOE} là diện tích tam giác AOE; ta có thể đánh giá độ tin cậy bằng 2 mô hình giao thoa [18], hình 10.



Hình 10. Giao thoa giữa hàm thuộc $\mu(x)$ và hàm mật độ xác suất $f(x)$: $\omega_1\omega_2 \leq P_f \leq \omega_1 + \omega_2$

6. Kết luận

- Hiện nay việc phân tích mờ kết cấu chỉ mới ở giai đoạn đầu, nhiều vấn đề cần hoàn thiện. Song đó là lĩnh vực hấp dẫn, vì có nhiều ứng dụng trong xây dựng dân sự và quốc phòng, Đó đó, tính toán kết cấu mờ thu hút sự chú ý của nhiều trung tâm nghiên cứu trên thế giới.

- Phương pháp phân tích “hồi quy mờ” nêu trên đây có thể mở rộng một cách tự nhiên cho việc phân tích mờ của hệ thống bất kỳ (kinh tế, sinh thái, an ninh, quốc phòng,...)

- Người ta đã chứng minh được rằng, trong trường hợp số liệu mờ (đa số các trường hợp trong thực tế) mà phân tích theo giả thiết ngẫu nhiên thì có sai số đáng kể.

- Phương pháp chọn đầu vào mờ cho quá trình tính toán trong bài này là có cơ sở được giải thích trong [14].

- Ưu điểm của phương pháp phân tích nêu trong bài này đơn giản, rõ ràng, có thể sử dụng với tiêu chuẩn bất kỳ.

- Nhược điểm là khối lượng tính toán lớn, trong tính toán mờ hiện nay người ta đều chấp nhận khó khăn này, để khắc phục khó khăn người ta sử dụng các máy tính hiện đại.

- Để giảm khối lượng tính toán, ta có thể làm bằng cách giảm số lần xuất hiện và số lượng các giá trị rời rạc của các tham số đầu vào một cách thích hợp. Ngoài ra khi coi các tổ hợp khả dĩ đầu vào là kết quả phép thử của một sự kiện, thì ta có thể dùng phương pháp Monte_Carlo để giảm khối lượng tính toán.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. NGUYỄN VĂN PHỐ. Cơ học trong điều kiện thông tin mờ. *Tuyển tập công trình hội nghị khoa học toàn quốc Cơ học Vật rắn biến dạng lần thứ VII. Đồ Sơn, 8/2004 (665-675).*
2. G.I SCHUALLER. On the treatment of uncertainties in structural mechanics and analysis. *Computer and structures* 85, 235-243, 2007.

3. BERD MËLLER. MICHAEL BEER. Fuzzy Randomness. *Uncertainty in Civil Engineering and Computation Mechanics*, 2004.
4. BÙI CÔNG CƯỜNG, LÊ DOÃN PHƯỚC. Hệ mờ, mạng Noron và ứng dụng. *NXB Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội*, 2001.
5. ISO 2394 : 0020. International Standard. *General principles on Reliability of Structures*, 1998.
6. Tiêu chuẩn thống nhất để thiết kế công trình theo độ tin cậy JB 50153-12. *Tiêu chuẩn nhà nước Cộng hòa nhân dân Trung hoa (tiếng Trung Quốc)*.
7. ANDRZEJ S.NOWAK, KENVIN R.COLLINS. Reliability of Structures. *McGraw-Hill* 2000.
8. PALLE THOFT – CHRISTENSEN, YOSHI SADA MURUTSA. Application of Structural systems reliability theory. *Verlarg-Berlin, New York, Tokyo*, 1986.
9. ACHINTYA HALDAR. Probability, Reliability and Statistical methods in Engineering Design. *John – Wiley & Sons*, 2000.
10. LI BING, ZHU MEILIA, XU KAI. A practical Engineering method for fuzzy reliability analysis of mechanical structures. *Reliability engineering & System Safety* 67, 311-315, 2000.
11. QIMI JIAG, CHUN HSIEN CHEN. A numerical algorithm of fuzzy reliability. *Reliability engineering and system safety* 80, 299-307, 2003.
12. K.K.YEN, S.GHOSHRAY, G.ROIG. A linear regression model using triangular fuzzy number coefficients. *Fuzzy sets and System* 106, 169 -177, 1999.
13. NGUYEN VAN PHO. A new method for determination of the Reliability index of distributed parameter systems. *Vietnam Journal of Mechanics. Volume 25.No4*, 186-192, 2003.
14. NGUYEN VAN PHO. Formulation of the membership Function and determination of the input of fuzzy loads in the structural fuzzy analyzing problem. *Vietnam Journal of Mechanics. Volume 29,No2*, 117-206, 2007.
15. L.A. ZADEH. Fuzzy sets. *Information and Control*, 1965.
16. PHẠM XUÂN MINH, NGUYỄN DOÃN PHƯỚC. Lý thuyết điều khiển mờ. *NXB Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội* 2006.
17. NGUYỄN NHƯ PHONG. Kinh tế Kỹ thuật mờ. *NXB Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội*, 2006.
18. NGUYỄN VĂN PHÓ, NGUYỄN ĐÌNH XÂN, NGUYỄN THẠC VŨ. Về mô hình giao thoa trong phân tích độ tin cậy mờ. *Tuyển tập công trình - Hội nghị Khoa học toàn quốc Cơ học vật rắn biến dạng lần thứ 8, Thái Nguyên 26/8/2006*, tr. 628-637.