

CÁC HƯỚNG NGHIÊN CỨU TRIỂN VỌNG CỦA PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN TRON VÀ TRIỂN KHAI TRONG ĐÀO TẠO SAU ĐẠI HỌC TẠI TP.HCM

Nguyễn Thời Trung¹

Nguyễn Xuân Hùng¹

Phùng Văn Phúc²

Lương Văn Hải³

TÓM TẮT

Xuất hiện từ năm 2007, các phương pháp phần tử hữu hạn tron (Smoothed Finite Element Methods – S-FEM) đã không ngừng phát triển cả về số lượng phương pháp lẫn các ứng dụng cụ thể của từng phương pháp. Đã có hàng trăm bài báo quốc tế trên các tạp chí hàng đầu về cơ học tính toán trình bày các kết quả nghiên cứu mới của phương pháp S-FEM và các ứng dụng cụ thể của chúng. Tại Việt Nam, các phương pháp S-FEM đang được phát triển mạnh bởi các nhóm nghiên cứu và đã được triển khai rất tốt trong một số đề tài nghiên cứu cơ bản cũng như trong đào tạo sau đại học tại một số trường đại học. Có thể khẳng định rằng, việc hình thành các nhóm nghiên cứu mạnh gắn liền với đào tạo sau đại học sẽ góp phần giúp nâng cao chất lượng nghiên cứu cũng như chất lượng của các đề tài luận văn ThS và TS tại Việt Nam. Bài báo vì vậy trình bày cụ thể các hướng nghiên cứu triển vọng của S-FEM tại Việt Nam và việc triển khai trong đào tạo sau đại học ngành xây dựng dân dụng và công nghiệp tại TP.HCM.

Từ khóa: Phương pháp phần tử hữu hạn tron (S-FEM) - Các hướng nghiên cứu triển vọng - Đào tạo sau đại học - Ngành xây dựng dân dụng và công nghiệp - Giải pháp nâng cao chất lượng.

ABSTRACT

Appeared since 2007, the Smoothed Finite Element Methods (S-FEM) have developed fast in both of number of methods and their applications. Hundreds of international papers on the leading computational Journals present new research results of S-FEM and their applications. In Vietnam, S-FEM have been developed strongly by some research groups and deployed very well in some basic research projects as well as in postgraduate at some universities. We can assert that the formulation of strong research groups connected closely to postgraduate will contribute to upgrade the quality of research as well as the quality of master and PhD theses in Vietnam. The paper hence presents specifically the prospective research directions of S-FEM in Vietnam and deployment in postgraduate of civil engineering major at Hochiminh city.

Keywords: Smoothed finite element methods (S-FEM) – Prospected research direction – Postgraduate education – Civil engineering – Solution of quality enhancement.

¹ Trường ĐH Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia TP.HCM.

² Trường ĐH Tôn Đức Thắng, TP.HCM.

³ Trường ĐH Bách Khoa, Đại học Quốc gia TP.HCM.

1. GIỚI THIỆU

Xuất hiện từ năm 2007, các phương pháp phần tử hữu hạn trơn (Smoothed Finite Element Methods – S-FEM) [2] đã không ngừng phát triển cả về số lượng phương pháp lẫn các ứng dụng cụ thể của từng phương pháp. Đã có hàng trăm bài báo quốc tế trên các tạp chí hàng đầu về cơ học tính toán trình bày các kết quả nghiên cứu mới của phương pháp S-FEM và các ứng dụng cụ thể như CS-FEM (Cell-based S-FEM) [3-6], NS-FEM (Node-based S-FEM) [7-8], ES-FEM (Edge-based S-FEM) [9-11], FS-FEM (Face-based S-FEM) [12, 13], alpha-FEM [14], ES-DSG (Edge-based Discrete Shear Gap) [15], CS-DSG (Cell-based Discrete Shear Gap) [16], CS-MIN3 (Cell-based three-node Mindlin plate element) [17], v.v.

Tại Việt Nam, các phương pháp S-FEM đang được phát triển mạnh bởi một số nhóm nghiên cứu và đã được triển khai rất tốt trong một số đề tài nghiên cứu cơ bản [18,19] và trong đào tạo sau đại học tại một số trường đại học. Với những kết quả này, có thể bước đầu khẳng định rằng, một số nhóm nghiên cứu mạnh về phương pháp S-FEM đang được hình thành và phát triển tại Việt Nam. Tuy nhiên, việc triển khai phương pháp S-FEM trong nghiên cứu khoa học và đào tạo sau đại học cho đến nay cũng còn giới hạn trong phạm vi một số trường như ĐH Khoa học Tự nhiên TP.HCM, ĐH Bách Khoa TP.HCM, ĐH Tôn Đức Thắng, ĐH Quốc Tế, ĐH Sư Phạm Kỹ Thuật, chứ chưa được phổ biến cho nhiều trường ĐH khác. Ngoài ra, phương pháp S-FEM cũng còn giới hạn phạm vi ứng dụng trong các ngành như Cơ học vật rắn biến dạng, xây dựng dân dụng và công nghiệp, Cơ khí và chưa được mở rộng cho các ngành khoa học tính toán khác.

Do đó, nhằm mục đích phổ biến rộng rãi hơn phương pháp S-FEM đến các

ngành khoa học tính toán khác nói chung, và đến các chương trình đào tạo sau đại học ngành xây dựng dân dụng và công nghiệp (XDDD&CN) nói riêng tại các trường ĐH trong TP.HCM, bài báo này sẽ giới thiệu ngắn gọn về phương pháp S-FEM, các hướng nghiên cứu triển vọng và một số triển khai đã và đang đạt được trong đào tạo sau đại học.

2. PHƯƠNG PHÁP S-FEM

Bằng cách kết hợp kỹ thuật trơn biên dạng của các phương pháp không lưới (Meshfree) [1] vào phương pháp phần tử hữu hạn truyền thống (FEM), một chuỗi các phương pháp phần tử hữu hạn trơn (S-FEM) [2] sử dụng nội suy tuyến tính đã được thành lập bao gồm S-FEM dựa trên phần tử (CS-FEM) [3-6], S-FEM dựa trên nút (NS-FEM) [7-8], S-FEM dựa trên cạnh (ES-FEM) [9-11], S-FEM dựa trên mặt (FS-FEM) [12, 13], và alpha-FEM [14]. Trong các phương pháp S-FEM này, lưới phần tử hữu hạn vẫn được sử dụng tương tự như phương pháp FEM truyền thống. Tuy nhiên, việc tính toán các ma trận độ cứng địa phương sẽ được thực hiện bởi kỹ thuật trơn biên dạng dựa trên các miền trơn được tạo từ các thành phần của lưới phần tử hữu hạn như phần tử, hay nút, hay cạnh, hay mặt. Những miền trơn có thể được tạo bên trong các phần tử (như CS-FEM), hay bao phủ một phần của các phần tử kế nhau (như NS-FEM, ES-FEM và FS-FEM). Những miền trơn này là độc lập tuyến tính và vì vậy đảm bảo sự ổn định và hội tụ của các phương pháp S-FEM. Việc áp dụng kỹ thuật trơn biên dạng [1] trên các miền trơn sẽ giúp làm mềm hiệu quả “đặc tính quá cứng” của phương pháp FEM truyền thống mà dùng các loại phần tử bậc thấp, và vì vậy có thể làm tăng đáng kể độ chính xác của lời giải chuyển vị và ứng suất. Trong phần này, chúng tôi trình bày ngắn gọn quá trình thành lập tổng quát của phương pháp phần tử hữu hạn trơn S-FEM.

2.1. Tóm tắt phương pháp phần tử hữu hạn (FEM)

Hệ phương trình rời rạc của phương pháp FEM [2] được tạo từ dạng yếu Galerkin sau:

$$\int_{\Omega} (\nabla_s \delta \mathbf{u})^T \mathbf{D} (\nabla_s \mathbf{u}) d\Omega - \int_{\Omega} \delta \mathbf{u}^T \mathbf{b} d\Omega - \int_{\Gamma_t} \delta \mathbf{u}^T \bar{\mathbf{t}} d\Gamma = 0 \quad (1)$$

trong đó \mathbf{b} là vector ngoại lực, \mathbf{D} là ma trận xác định dương của các hằng số vật liệu, $\bar{\mathbf{t}}$ là vector lực cho trước trên biên Γ_t , \mathbf{u} là hàm thử, $\delta \mathbf{u}$ là hàm kiểm tra

và $\nabla_s \mathbf{u}$ là gradient đối xứng của trường chuyển vị.

Phương pháp FEM sử dụng các hàm thử và hàm kiểm tra như sau:

$$\mathbf{u}^h(\mathbf{x}) = \sum_{I=1}^{N_n} \mathbf{N}_I(\mathbf{x}) \mathbf{d}_I \quad ; \quad \delta \mathbf{u}^h(\mathbf{x}) = \sum_{I=1}^{N_n} \mathbf{N}_I(\mathbf{x}) \delta \mathbf{d}_I \quad (2)$$

trong đó N_n là tổng số nút rời rạc của miền bài toán, \mathbf{d}_I là vector chuyển vị nút và $\mathbf{N}_I(\mathbf{x})$ là ma trận hàm dạng.

Thay thế các xấp xỉ \mathbf{u}^h và $\delta \mathbf{u}^h$ trong phương trình (2) vào dạng yếu (1), và sử dụng đặc tính bất kỳ của chuyển vị nút khả dĩ, chúng ta thu được hệ phương trình đại số rời rạc như sau:

$$\mathbf{K}^{FEM} \mathbf{d} = \mathbf{f} \quad (3)$$

trong đó \mathbf{K}^{FEM} và \mathbf{f} tương ứng là ma trận độ cứng và vector lực của hệ, và được

lắp ráp từ các ma trận độ cứng phần tử và vector lực phần tử sau:

$$\mathbf{K}_{IJ}^{FEM} = \int_{\Omega} \mathbf{B}_I^T \mathbf{D} \mathbf{B}_J d\Omega \quad (4)$$

$$\mathbf{f}_I = \int_{\Omega} \mathbf{N}_I^T(\mathbf{x}) \mathbf{b} d\Omega + \int_{\Gamma_t} \mathbf{N}_I^T(\mathbf{x}) \bar{\mathbf{t}} d\Gamma \quad (5)$$

với $\mathbf{B}_I(\mathbf{x})$ là ma trận chuyển vị - biến dạng tương thích và có dạng

$$\mathbf{B}_I(\mathbf{x}) = \nabla_s \mathbf{N}_I(\mathbf{x}) \quad (6)$$

Trong phương pháp FEM, ta sẽ tính toán tích phân trong các phương trình (4) và (5) dựa trên phần tử.

2.2. Thành lập tổng quát của phương pháp PTHH tron (S-FEM)

Trong các phương pháp S-FEM [2], quá trình rời rạc miền bài toán thành N_e

phần tử và N_n nút cũng tương tự như trong phương pháp truyền thống FEM, tuy nhiên điểm khác nhau ở đây là việc hình thành thêm N_s miền tron Ω_k^s dựa trên các phần tử, nút, cạnh hay mặt của hệ lưới vừa được rời rạc sao cho $\Omega = \bigcup_{k=1}^{N_s} \Omega_k^s$ và $\Omega_i^s \cap \Omega_j^s = \emptyset$, $i \neq j$. Biến dạng tron $\bar{\mathbf{e}}_k$ [1] sau đó sẽ được

thành lập dựa trên những miền tron Ω_k^s hàm tron $\Phi_k(\mathbf{x})$ và tích phân trên toàn này bằng cách nhân biến dạng tương thích miền tron Ω_k^s như $\boldsymbol{\varepsilon} = \nabla_s \mathbf{u}$ trong phương trình (1) với một

$$\bar{\boldsymbol{\varepsilon}}_k = \int_{\Omega_k^s} \boldsymbol{\varepsilon}(\mathbf{x}) \Phi_k(\mathbf{x}) d\Omega = \int_{\Omega_k^s} \nabla_s \mathbf{u}(\mathbf{x}) \Phi_k(\mathbf{x}) d\Omega \quad (7)$$

trong đó $\Phi_k(\mathbf{x})$ là một hàm tron thỏa mãn đặc tính đơn vị $\int_{\Omega_k^s} \Phi_k(\mathbf{x}) d\Omega = 1$.
Sử dụng hàm tron hằng

$$\Phi_k(\mathbf{x}) = \begin{cases} 1/A_k^s & \mathbf{x} \in \Omega_k^s \\ 0 & \mathbf{x} \notin \Omega_k^s \end{cases} \quad (8)$$

trong đó $A_k^s = \int_{\Omega_k^s} d\Omega$ là diện tích của miền tron Ω_k^s , và áp dụng công thức tích phân Divergence, ta có

$$\bar{\boldsymbol{\varepsilon}}_k(\mathbf{x}) = \frac{1}{A_k^s} \int_{\Omega_k^s} \boldsymbol{\varepsilon}^h(\mathbf{x}) d\Omega = \frac{1}{A_k^s} \int_{\Omega_k^s} \nabla_s \mathbf{u}^h(\mathbf{x}) d\Omega = \frac{1}{A_k^s} \int_{\Gamma_k^s} \mathbf{n}_k^s(\mathbf{x}) \mathbf{u}^h(\mathbf{x}) d\Gamma \quad (9)$$

trong đó Γ_k^s là biên của miền tron Ω_k^s , và $\mathbf{n}_k^s(\mathbf{x})$ là ma trận của vector pháp tuyến hướng ra ngoài trên biên Γ_k^s . Trong các phương pháp S-FEM, hàm thử $\mathbf{u}^h(\mathbf{x})$ được sử dụng tương tự như phương trình (2) trong xấp xỉ của phương pháp FEM. Do đó vector lực \mathbf{f} trong các phương pháp

S-FEM sẽ được tính toán tương tự như trong phương pháp FEM.

Thay thế phương trình (2) vào (7), biến dạng tron trên miền tron Ω_k^s có thể được viết dưới dạng ma trận của các chuyển vị nút như sau:

$$\bar{\boldsymbol{\varepsilon}}_k = \sum_{I \in S_k^s} \bar{\mathbf{B}}_I \bar{\mathbf{d}}_I \quad (10)$$

trong đó $\bar{\mathbf{d}}_I$ là vector chuyển vị nút tại nút thứ I của nghiệm phương pháp S-FEM; S_k^s là tập hợp của các nút “ảnh hưởng” trong miền tron Ω_k^s , trong đó nút

ảnh hưởng là các nút của các phần tử tham gia tạo miền tron Ω_k^s và $\bar{\mathbf{B}}_I$ là ma trận chuyển vị - biến dạng “tron” và được tính bởi

$$\bar{\mathbf{B}}_I = \frac{1}{A_k^s} \int_{\Gamma_k^s} \mathbf{n}_k^s(\mathbf{x}) \mathbf{N}_I(\mathbf{x}) d\Gamma \quad (11)$$

Quá trình thành lập ma trận độ cứng của phương pháp S-FEM cũng tương tự như của phương pháp FEM, tuy nhiên có một số điểm khác như sau: (1) biến dạng tương thích $\boldsymbol{\varepsilon}^h$ được thay bằng biến dạng

tron $\bar{\boldsymbol{\varepsilon}}$, từ đó dẫn đến ma trận chuyển vị - biến dạng tương thích \mathbf{B} được thay bằng ma trận chuyển vị - biến dạng tron $\bar{\mathbf{B}}$; (2) miền tích phân địa phương dựa trên N_e các phần tử Ω_i^e được thay bằng miền tích

phân địa phương dựa trên các N_s miền của các phương pháp S-FEM vì vậy có tron Ω_k^s . Hệ phương trình đại số rời rạc dạng như sau:

$$\bar{\mathbf{K}}\bar{\mathbf{d}} = \mathbf{f} \quad (12)$$

trong đó $\bar{\mathbf{K}}$ là ma trận độ cứng “tron” tổng thể được lắp ghép từ các ma trận cứng tron trên các miền tron như sau:

$$\bar{\mathbf{K}}_{IJ} = \int_{\Omega} \bar{\mathbf{B}}_I^T \mathbf{D} \bar{\mathbf{B}}_J d\Omega = \sum_{k=1}^{N_s} \int_{\Omega_k^s} \bar{\mathbf{B}}_I^T \mathbf{D} \bar{\mathbf{B}}_J d\Omega = \sum_{k=1}^{N_s} \bar{\mathbf{B}}_I^T \mathbf{D} \bar{\mathbf{B}}_J A_k^s \quad (13)$$

Chú ý rằng trong phương trình (12), vector tải \mathbf{f} được viết và tính toán tương tự như trong phương pháp FEM, bởi vì ta chỉ áp dụng việc tron hóa cho toán tử song tuyến tính để hình thành ma trận độ cứng tron $\bar{\mathbf{K}}$ chứ không áp dụng cho toán tử tuyến tính hình thành vector tải \mathbf{f} . Ngoài ra, trong phương trình (13), $\bar{\mathbf{K}}$ là ma trận đối xứng xác định dương và cũng có dạng ma trận thưa. Vì vậy ta có thể giải hệ phương trình (12) bằng các giải thuật như được sử dụng trong phương pháp FEM.

Từ các phương trình (9), (10) và (11), ta thấy rằng các tích phân số trên các miền tron Ω_k^s có thể được biến đổi thành tích phân trên biên Γ_k^s của các miền tron. Ngoài ra, ta không cần tính đạo hàm của các hàm dạng mà chỉ cần tính trực tiếp giá trị của hàm dạng tại các điểm Gauss dọc theo biên Γ_k^s của các miền tron. Điều này làm cho việc tính toán ma trận độ cứng trong các phương pháp S-FEM dễ dàng hơn trong phương pháp FEM. Các ma trận độ cứng tron địa phương có thể được tính toán trực tiếp trên các miền tron vật lý mà không cần dùng các phép biến đổi ánh xạ giữa phần tử vật lý và phần tử đẳng tham số như trong phương pháp FEM.

3. CÁC HƯỚNG NGHIÊN CỨU TRIỂN VỌNG CỦA S-FEM

Từ các kết quả nghiên cứu đã và đang thực hiện, chúng tôi liệt kê một số hướng nghiên cứu triển vọng của S-FEM như sau:

3.1. Phát triển các phương pháp S-FEM mới trong cơ rắn

Trong hướng này, chúng tôi tiếp tục phát triển các phương pháp S-FEM mới trong: Cơ rắn cho kết cấu phẳng hai chiều (CS-FEM, NS-FEM, ES-FEM), kết cấu khối ba chiều (NS-FEM, FS-FEM), kết cấu tấm (ES-DSG, CS-DSG, CS-MIN3), vỏ (CS-DSG), kết cấu thanh, dầm.

3.2. Phát triển các phương pháp S-FEM mới trong cơ lưu chất

Trong hướng này, chúng tôi bắt đầu nghiên cứu các phương pháp S-FEM mới trong cơ lỏng gồm 2 trường vận tốc và áp suất. Trong đó nhấn mạnh vai trò khử các dạng dao động thừa hay hiện tượng khóa thể tích của trường áp suất, và đảm bảo sự hội tụ ổn định của bài toán xấp xỉ hai trường.

3.3. Mô phỏng bài toán tấm vỏ vật liệu đa chức năng

Trong hướng này, chúng tôi tiếp tục áp dụng các phương pháp S-FEM trong các bài toán kết cấu tấm vỏ đẳng hướng và tấm vỏ sử dụng các loại vật liệu đa chức năng như vật liệu composite, vật liệu cơ lý thay đổi theo chiều dày FGM (Functional Graded Materials), vật liệu gắn piezo điện. Trong hướng này, lý thuyết tấm vỏ Mindlin được ưa chuộng và nhiều lý thuyết biến dạng cắt khác nhau có thể được sử dụng (như biến dạng cắt bậc nhất FSĐT – first-order shear deformation theory, biến dạng cắt bậc cao HSĐT – higher-order shear deformation theory ...).

3.4. Mô phỏng bài toán tương tác rắn – lưu chất

Trong hướng này, chúng tôi triển khai áp dụng các phương pháp S-FEM cho bài toán tương tác giữa chất rắn và lưu chất. Ví dụ các bài toán tương tác giữa đê đập, vật cản với dòng chảy; giữa các bể chứa dạng tấm, vỏ với chất lỏng; giữa các kết cấu dạng tấm vỏ với dòng không khí, âm thanh; giữa pittong và lưu chất bị nén. Mức độ phức tạp của các bài toán sẽ được nâng dần lên từ các bài toán biến dạng bé với miền rời rạc không thay đổi và chỉ tập trung vào phần tương tác giữa chất rắn và lưu chất, đến các bài toán biến dạng lớn với miền rời rạc liên tục thay đổi và cần sử dụng các phương pháp thích ứng với sự thay đổi của miền rời rạc này như phương pháp ALE (Arbitrary Lagrange Euler), phương pháp IBM (Immersed Boundary Method), v.v... Đối với các bài toán bể chứa, độ phức tạp có thể được nâng dần lên từ bể chứa tĩnh với mặt thoáng chất lỏng không thay đổi, đến bài toán bể chứa di động với mặt thoáng chất lỏng liên tục thay đổi và xét luôn trường hợp có sóng.

3.5. Mô phỏng bài toán tấm vỏ được gia cường gân

Trong hướng này, chúng tôi triển khai áp dụng các phương pháp S-FEM để tính toán và mô phỏng các bài toán tấm vỏ được gia cường gân. Độ phức tạp sẽ được nâng dần lên từ các bài toán phân tích dao động tự do, phân tích ổn định chịu nén, phân tích tải trọng tĩnh cho tấm vỏ đẳng hướng đến các loại tấm vỏ vật liệu đa chức năng khác nhau (composite, vật liệu hỗn hợp cơ nhiệt, piezo). Cả hai lý thuyết tấm vỏ Mindlin và Kirchoff đều được nghiên cứu, và gân gia cường tương ứng sẽ là phần tử dầm Timoshenko và dầm Euler-Bernouli.

3.6. Mô phỏng bài toán kết cấu rạn nứt phá hủy

Trong hướng này, chúng tôi triển khai áp dụng các phương pháp S-FEM để

tính toán và mô phỏng các bài toán kết cấu phẳng chịu nứt và kết cấu tấm vỏ chịu nứt. Trong bài toán nứt này, các phần tử ngoài vết nứt sẽ giống như phần tử S-FEM thông thường, nhưng các phần tử dọc theo vết nứt và tại đỉnh vết nứt sẽ được làm giàu bằng các hàm bất liên tục và hàm suy biến tương ứng. Bài toán tập trung vào việc phân tích ứng suất suy biến tại đỉnh vết nứt, và tính toán các cường độ ứng suất K tại đỉnh vết nứt. Độ phức tạp bài toán sẽ được nâng dần từ các kết cấu chịu nứt tĩnh đến các bài toán lan truyền một vết nứt, lan truyền nhiều vết nứt và mỏi, v.v... Các bài toán phân tích dao động tự do, phân tích tĩnh sẽ được xem xét. Ngoài ra, một hướng nghiên cứu song song với việc mô phỏng các bài toán tấm, vỏ chịu nứt là sử dụng các phương pháp phân tích wavelet để chẩn đoán vết nứt.

3.7. Mô phỏng bài toán phân tích giới hạn của kết cấu phẳng, tấm vỏ và nền móng

Trong hướng này, chúng tôi triển khai áp dụng các phương pháp S-FEM để tính toán và mô phỏng các bài toán phân tích giới hạn của kết cấu phẳng, kết cấu tấm vỏ và nền móng. Mục đích của dạng bài toán này là tìm tải trọng giới hạn và dạng đường trượt dẻo của kết cấu. Đây là một dạng bài toán tối ưu hóa ở trạng thái giới hạn dẻo và chỉ xem xét trạng thái phá hủy dẻo cuối cùng của kết cấu, không xem xét quá trình biến dạng trung gian. Độ phức tạp của bài toán có thể được nâng lên từ các bài toán chia lưới đều đến các bài toán chia lưới thích nghi, từ các phần tử liên tục đến các phần tử bất liên tục, v.v... Cho bài toán phân tích giới hạn của nền móng, độ phức tạp có thể được nâng lên từ 1 lớp đất đồng nhất có một hệ số dính c , hệ số ma sát, đến nhiều lớp đất khác nhau có các hệ số dính và hệ số ma sát khác nhau, từ các đất nền không có nước ngầm đến có nước ngầm, từ các loại móng đơn đến các loại móng khác nhau v.v...

3.8. Mô phỏng bài toán tấm, dầm trên nền đàn nhớt chịu tải trọng di động

Trong hướng này, chúng tôi triển khai áp dụng các phương pháp S-FEM để tính toán và mô phỏng các bài toán dầm, tấm trên các loại nền đàn nhớt có xét tải trọng động di chuyển. Tấm được mô phỏng bằng các loại tấm dày đẳng hướng, tấm vật liệu composite. Mô hình nền được xét là mô hình đàn hồi Winkler có xét đến tính nhớt.

3.9. Tối ưu hóa topology và tối ưu hóa kết cấu

Trong hướng này, chúng tôi triển khai áp dụng các phương pháp S-FEM và các thuật giải tối ưu để tính toán và mô phỏng các bài toán tối ưu hóa topology, tối ưu hóa kết cấu, với mục đích để việc thiết kế, chế tạo trong thực tế vừa đảm bảo về độ bền, độ ổn định, cũng như đảm bảo nhiều yếu tố cạnh tranh khác như hình dáng đẹp, gọn nhẹ, tiết kiệm vật liệu vv. Từ các bài toán đã được tính toán và mô phỏng có sẵn, chúng ta sẽ thiết lập bài toán tối ưu hóa bằng việc thiết lập hàm mục tiêu, biên thiết kế, biến ứng xử, các điều kiện ràng buộc của biên thiết kế và biến ứng xử. Sau đó tùy theo đặc điểm và các dạng khác nhau của bài toán tối ưu, chúng ta sẽ kết hợp các phương pháp số với các giải thuật tối ưu phù hợp để giải như giải thuật di truyền GA (Genetic algorithm), giải thuật xấp xỉ lồi tuần tự (Sequential Convex Approximation), giải thuật đường dốc nhất, giải thuật tiêu chuẩn tối ưu OC (Optimality Criteria), giải thuật tiệm cận di chuyển MMA (Method of Moving Asymptotes)... Đối với các bài toán lớn và tính toán lâu, chúng ta có thể phối hợp thêm các giải thuật của mạng Neuron Network để nâng cao hiệu quả tính toán.

3.10. Đánh giá độ tin cậy của kết cấu

Trong hướng này, chúng tôi triển khai áp dụng các phương pháp S-FEM để tính toán và mô phỏng các bài toán phân tích độ tin cậy của kết cấu. Trong thực tế,

các dữ liệu tính toán (đầu vào) sẽ không cố định như thiết kế ban đầu, mà sẽ dao động quanh một giá trị kỳ vọng với một độ lệch chuẩn nhất định. Điều này dẫn đến ứng xử của kết cấu (đầu ra) sau khi tính toán (xử lý) cũng sẽ bị dao động, và sẽ có một số trường hợp ứng xử của kết cấu vượt quá mức giới hạn cho phép ban đầu. Xác suất để tính tất cả trường hợp ứng xử của kết cấu vượt quá mức giới hạn cho phép ban đầu khi đó sẽ được gọi là độ không an toàn của kết cấu. Bài toán này khi đó được gọi là phân tích độ tin cậy. Tất cả các bài toán đã được đề cập ở trên đều có thể phân tích độ tin cậy khi dữ liệu ban đầu được điều chỉnh dao động quanh giá trị thiết kế ban đầu với một độ lệch chuẩn nhất định. Các phương pháp phổ biến được sử dụng hiện nay để phân tích độ tin cậy gồm có phương pháp đánh giá độ tin cậy bậc 1 (FORM-First order Reliability Method), độ tin cậy bậc 2 (SORM-Second order Reliability Method) và phương pháp truyền thống dùng để kiểm tra Monte Carlo.

4. TRIỂN KHAI PHƯƠNG PHÁP S-FEM TRONG ĐÀO TẠO SAU ĐẠI HỌC TẠI TP.HCM

Cho đến thời điểm hiện tại, các phương pháp S-FEM đã được triển khai trong các đề tài luận văn ThS tại một số trường đại học ở TP.HCM như ngành Xây dựng và dân dụng thuộc ĐH Bách Khoa TPHCM, ngành Cơ học kỹ thuật thuộc ĐH Sư Phạm Kỹ Thuật TP.HCM, ngành Cơ học ứng dụng thuộc ĐH Khoa học Tự nhiên. Một số đề tài luận văn ThS điển hình được liệt kê như sau:

4.1. Các đề tài đã thực hiện và bảo vệ thành công

Từ năm 2011 đến nay, tổng cộng có 13 đề tài đã thực hiện và bảo vệ thành công:

Đề tài 1: Phát triển phương pháp phân tử hữu hạn tron dựa trên cạnh (ES-FEM) để mô phỏng các bài toán tương

tác rắn lỏng. Phùng Văn Phúc, ThS ngành Cơ học kỹ thuật ĐH Sư Phạm Kỹ Thuật TP.HCM năm 2011, (điểm bảo vệ 9.5).

Đề tài 2: Phát triển phương pháp phần tử hữu hạn tron dựa trên nút (NS-FEM) để mô phỏng các bài toán tương tác rắn lỏng. Nguyễn Ngọc Nhân, ThS ngành Cơ học ứng dụng ĐH KHTN, ĐHQG-HCM năm 2011, (điểm bảo vệ 9.3).

Đề tài 3: Một số nghiên cứu về phương pháp phần tử hữu hạn làm tron dựa trên nút. Bùi Xuân Thắng, ThS ngành Cơ học ứng dụng ĐH KHTN, ĐHQG-HCM năm 2011, (điểm bảo vệ 9.4).

Đề tài 4: Phân tích tĩnh và động học của tấm vật liệu cơ lý thay đổi (FGM) dùng phương pháp phần tử hữu hạn tron dựa trên cạnh (ES-FEM). Trần Vĩnh Lộc, ThS ngành Xây dựng và dân dụng ĐH Bách Khoa, ĐHQG-HCM năm 2011, (điểm bảo vệ 8.3).

Đề tài 5: Phân tích tĩnh động của tấm áp điện nhiều lớp bằng phương pháp phần tử hữu hạn tron dựa trên cạnh (ES-FEM). Phan Đào Hoàng Hiệp, ThS ngành Xây dựng và dân dụng ĐH Bách Khoa, ĐHQG-HCM năm 2011, (điểm bảo vệ 9.1).

Đề tài 6: Phân tích độ tin cậy của tấm vật liệu có tính chất cơ lý biến đổi dùng phương pháp phần tử hữu hạn tron trên cạnh (ES-DSG). Ông Kim Sang, ThS ngành Xây dựng và dân dụng ĐH Bách Khoa, ĐHQG-HCM năm 2012, (điểm bảo vệ 8.7).

Đề tài 7: Phân tích độ tin cậy của tấm composite nhiều lớp dùng phương pháp phần tử hữu hạn tron trên cạnh. Phạm Văn Trục, ThS ngành Xây dựng và dân dụng ĐH Bách Khoa, ĐHQG-HCM năm 2012, (điểm bảo vệ 8.0).

Đề tài 8: Phân tích độ tin cậy của tấm composite có lớp áp điện bằng phương pháp phần tử hữu hạn tron trên cạnh. Trần Văn Phát, ThS ngành Xây dựng và dân dụng ĐH Bách Khoa, ĐHQG-HCM năm 2012, (điểm bảo vệ 7.0).

Đề tài 9: Phân tích ứng xử của vật thể rắn chịu tác dụng của lưu chất bằng phương pháp phần tử hữu hạn tron dựa trên cạnh (ES-FEM). Liêu Xuân Quý, HVCH ngành Xây dựng và dân dụng ĐH Bách Khoa, ĐHQG-HCM năm 2012, (điểm bảo vệ 8.8).

Đề tài 10: Phân tích dao động tự do của vỏ Mindlin có xét đến tương tác của chất lỏng bằng phương pháp CS-DSG3. Thái Hồng Sơn, HVCH ngành Xây dựng và dân dụng ĐH Bách Khoa, ĐHQG-HCM năm 2012, (điểm bảo vệ 7.9).

Đề tài 11: Phương pháp CS-MIN3 cho phân tích dao động tự do của tấm Mindlin có xét đến tương tác rắn – lưu chất. Nguyễn Quốc Toàn, HVCH ngành Xây dựng và dân dụng ĐH Bách Khoa, ĐHQG-HCM năm 2012, (điểm bảo vệ 7.6).

Đề tài 12: Phân tích tấm Reissner-Mindlin có dầm Timoshenko gia cường bằng phương pháp CS-DSG3. Phạm Đức Tuấn, HVCH ngành Xây dựng và dân dụng ĐH Bách Khoa, ĐHQG-HCM năm 2012, (điểm bảo vệ 8.2).

Đề tài 13: Phân tích độ tin cậy của tấm và vỏ Mindlin bằng phương pháp CS-DSG3. Nguyễn Quang Huy, HVCH ngành Xây dựng và dân dụng ĐH Bách Khoa, ĐHQG-HCM năm 2012, (điểm bảo vệ 7.6).

4.2. Các đề tài đã bảo vệ đề cương và đang thực hiện

Trong năm 2012, tổng cộng 5 đề tài đã bảo vệ đề cương và đang thực hiện (dự kiến bảo vệ luận văn tốt nghiệp vào tháng 2/2013) gồm:

Đề tài 1: Tối ưu hóa tấm Mindlin được gia cường gân bằng giải thuật di truyền và phương pháp CS-DSG3. Võ Thị Mộng Tuyền, HVCH ngành Xây dựng và dân dụng ĐH Bách Khoa, ĐHQG-HCM năm 2012.

Đề tài 2: Tối ưu hóa tấm vật liệu composite bằng giải thuật di truyền và phương pháp CS-DSG3. Trần Văn Dân, HVCH ngành Xây dựng và dân dụng ĐH Bách Khoa, ĐHQG-HCM năm 2012.

Đề tài 3: Phân tích ứng xử phi tuyến hình học của tấm composite laminate bằng phần tử hữu hạn CS-MIN3. Đỗ Chí Thanh, HVCH ngành Xây dựng và dân dụng ĐH Bách Khoa, ĐHQG-HCM năm 2012.

Đề tài 4: Phân tích dao động tự do của tấm Mindlin có vết nứt bằng phần tử XCS-DSG3, và chẩn đoán vết nứt của tấm bằng phân tích wavelet. Nguyễn Anh Tuấn, HVCH ngành Xây dựng và dân dụng ĐH Bách Khoa, ĐHQG-HCM năm 2012.

Đề tài 5: Phân tích giới hạn của tấm Mindlin bằng phương pháp CS-DSG3 và chương trình tối ưu hóa hình nón bậc 2 (SOCP). Trương Anh Tuấn, HVCH ngành Xây dựng và dân dụng ĐH Bách Khoa, ĐHQG-HCM năm 2012.

4.3. Một số đề tài ThS sẽ được triển khai trong thời gian tới

Đề tài 1: Phân tích ổn định của kết cấu thành mỏng.

Đề tài 2: Đánh giá độ tin cậy lên tuổi thọ kết cấu.

Đề tài 3: Phân tích độ tin cậy trong đánh giá mức độ hư hại của kết cấu do môi.

Đề tài 4: Phân tích kết cấu tấm vỏ chuyển vị lớn.

Đề tài 5: Ổn định cơ nhiệt kết cấu tấm nhiều lớp.

Đề tài 6: Ổn định cơ nhiệt kết vỏ tấm nhiều lớp.

Đề tài 7: Ổn định cơ nhiệt kết cấu tấm biến đổi chức năng.

Đề tài 8: Ổn định cơ nhiệt kết vỏ tấm sandwich.

Đề tài 9: Phân tích ứng xử cơ học của một số môi trường hai pha.

Đề tài 10: Phân tích lan truyền vết nứt và môi động lực học trong bài toán phẳng.

Đề tài 11: Mô hình giảm bậc kết hợp với ES-FEM cho bài toán vật liệu hỗn tạp.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày ngắn gọn nội dung và các hướng nghiên cứu triển vọng của phương pháp phần tử hữu hạn tron (S-FEM) và một số kết quả triển khai trong đào tạo sau đại học. Với những nỗ lực nhất định của đội ngũ nghiên cứu và sự hỗ trợ của nhiều tổ chức, các trường đại học, một số nhóm nghiên cứu ngành cơ học tính toán về các phương pháp S-FEM đã dần được hình thành và phát triển tại TP.HCM. Chúng tôi tin tưởng rằng việc triển khai được những hướng nghiên cứu này trong đào tạo sau đại học sẽ góp phần giúp nâng cao chất lượng đào tạo cũng như chất lượng của các đề tài luận văn ThS và TS ngành xây dựng dân dụng và công nghiệp tại TP.HCM và các tỉnh miền Tây Nam Bộ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Chen JS, Wu CT, Yoon S, You Y (2001) "A stabilized conforming nodal integration for Galerkin mesh-free methods". *International Journal for Numerical Methods in Engineering*; 50:435–466.
2. Liu GR, Nguyen Thoi Trung (2010) *Smoothed Finite Element Methods*. CRC Press, Taylor and Francis Group, New York.
3. Liu GR, Dai KY, Nguyen-Thoi T (2007) "A smoothed finite element for mechanics problems". *Computational Mechanics*; 39:859–877.

4. Liu GR, Nguyen-Thoi T, Dai KY, Lam KY (2007) “Theoretical aspects of the smoothed finite element method (SFEM)”. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*; 71: 902-930.
5. Liu GR, Nguyen-Xuan H, Nguyen-Thoi T (2010) “A theoretical study on the smoothed FEM (S-FEM) models: properties, accuracy and convergence rates”. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*; 84(10), 1222-1256.
6. Nguyen-Xuan H, Nguyen-Thoi T (2009) “A stabilized smoothed finite element method for free vibration analysis of Mindlin-Reissner plates”. *Communications in Numerical Method and Engineering*; 25 (8): 882 - 906.
7. Liu GR, Nguyen-Thoi T, Nguyen-Xuan H, Lam KY (2009) “A node based smoothed finite element method (NS-FEM) for upper bound solution to solid mechanics problems”. *Computers and Structures*; 87:14-26.
8. Nguyen-Thoi T, Liu GR, **Nguyen-Xuan H (2009)** “Additional properties of the node-based smoothed finite element method (NS-FEM) for solid mechanics problems”. *International Journal of Computational Methods*; 6: 633-666.
9. Liu GR, Nguyen-Thoi T, Lam KY (2009) “An edge-based smoothed finite element method (ES-FEM) for static, free and forced vibration analyses of solids”. *Journal of Sound and Vibration*; 320: 1100-1130.
10. Nguyen-Thoi T, Liu GR, Nguyen-Xuan H (2011) “An n -sided polygonal edge-based smoothed finite element method (nES-FEM) for solid mechanics”. *Communications in Numerical Methods in Engineering*; 27(9): 1446-1472.
11. Nguyen-Thoi T, Liu GR, Vu-Do HC, **Nguyen-Xuan H (2009)** “An edge-based smoothed finite element method (ES-FEM) for visco-elastoplastic analyses of 2D solids using triangular mesh”. *Computational Mechanics*, 45: 23-44.
12. Nguyen-Thoi T, Liu GR, Lam KY, Zhang GY (2009) “A Face-based Smoothed Finite Element Method (FS-FEM) for 3D linear and nonlinear solid mechanics problems using 4-node tetrahedral elements”. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*; 78: 324-353.
13. Nguyen-Thoi T, Liu GR, Vu-Do HC, **Nguyen-Xuan H (2009)** “A face-based smoothed finite element method (FS-FEM) for visco-elastoplastic analyses of 3D solids using tetrahedral mesh”. *Computer Methods Applied Mechanics Engineering*; 198: 3479-3498.
14. Liu GR, Nguyen-Thoi T, Lam KY (2008) “A novel Alpha Finite Element Method (α FEM) for exact solution to mechanics problems using triangular and tetrahedral elements”. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*; 197: 3883-3897.
15. Nguyen-Xuan H, Liu GR, Thai-Hoang C, Nguyen-Thoi T (2009) “An edge-based smoothed finite element method with stabilized discrete shear gap technique (ES-DSG) for analysis of Reissner-Mindlin plates”. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*; 199: 471-489.
16. T. Nguyen-Thoi, P. Phung-Van, H. Nguyen-Xuan, Chien H. Thai (2012) “A cell-based smoothed discrete shear gap method (CS-DSG3) using triangular elements for static and free vibration analyses of Reissner-Mindlin plates”. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 91(7) 705-741.

17. T. Nguyen-Thoi, P. Phung-Van, H. Luong-Van, H. Nguyen-Van, H. Nguyen-Xuan (2012) “A cell-based smoothed three-node Mindlin plate element (CS-MIN3) for static and free vibration analyses of plates”. *Computational Mechanics*, DOI: 10.1007/s00466-012-0705-y.
18. Đề tài NAFOSTED “*Nghiên cứu và phát triển các phương pháp phần tử hữu hạn tron để mô hình và mô phỏng các bài toán tương tác trong môi trường đa vật lý*” (thời gian từ 11/2010 đến 11/2012). Mã số đề tài: 107.02-2010.01. Chủ nhiệm đề tài: TS. Nguyễn Thời Trung.
19. Đề tài NAFOSTED “*Phát triển hai phương pháp phần tử hữu hạn thay thế cho bài toán cơ học vật thể rắn*” (thời gian từ 11/2010 đến 11/2012). Mã số đề tài: 107.02-2010.05. Chủ nhiệm đề tài: TS. Nguyễn Xuân Hùng.

(Ngày nhận bài: 05/06/2012; Ngày chấp nhận đăng: 05/10/2012).