**THÔNG TIN VỀ KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU**

Tên luận án: PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN ĐẲNG HÌNH HỌC CHO PHÂN TÍCH GIỚI HẠN VÀ THÍCH NGHI CỦA KẾT CẤU

Chuyên ngành: Cơ kỹ thuật Mã số: 9520101

Họ tên nghiên cứu sinh: Đỗ Văn Hiến

Người hướng dẫn khoa học: GS. TS Nguyễn Xuân Hùng

PGS. TS Văn Hữu Thịnh

Cơ sở đào tạo: Khoa Xây dựng, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM

1. **Tóm tắt luận án**

Sự an toàn về cấu trúc như nhà máy điện hạt nhân, ngành công nghiệp hóa chất, ngành bồn bể và đường ống áp lực v.v thường có thể được đánh giá với sự trợ giúp của phân tích giới hạn và thích nghi. Ngày nay, phân tích giới hạn và thích nghi đóng vai trò quan trọng trong việc không chỉ đánh giá sự an toàn của các kết cấu kỹ thuật mà còn thiết kế các kết cấu kỹ thuật. Chúng ta có thể xác định hệ số nhân tải giới hạn bằng phương pháp giới hạn theo cận dưới hoặc cận trên. Để sử dụng phân tích giới hạn và thích nghi trong nhiều lĩnh vực kỹ thuật thực tế, việc phát triển các công cụ số đủ hiệu quả và mạnh mẽ là một nghiên cứu hiện tại trong lĩnh vực phân tích giới hạn và thích nghi. Các công cụ số bao gồm hai bước: rời rạc hóa miền phân tích và tối ưu hóa có ràng buộc.

Trong nghiên cứu này, phương pháp phần tử hữu hạn đẳng hình học được sử dụng trong bước đầu tiên để rời rạc hóa miền phân tích của các kết cấu. Thuật toán primal-dual dựa trên tiêu chuẩn von Mise được sử dụng trong bước thứ hai để giải quyết bài toán tối ưu hóa. Về mặt toán học, bài toán phân tích giới hạn và thích nghi được coi là một bài toán lập trình phi tuyến. Bắt đầu từ định lý cận trên, giới hạn và thích nghi là tối thiểu của hàm tiêu tán năng lượng, dựa trên tiêu chuẩn von Mise, tuân theo tính tương thích, điều kiện không nén và các ràng buộc chuẩn hóa.

Phân tích đẳng hình học (IGA) sử dụng các hàm cơ sở NURBS cho cả biểu diễn hình học và xấp xỉ lời giải. Mục đích chính của IGA là tích hợp phân tích phần tử hữu hạn (FEA) vào các công cụ thiết kế dưới sự trợ giúp máy tính (CAD) dựa trên NURBS. Việc trích xuất NURBS của Bézier và Lagrange được sử dụng trong phân tích do các khía cạnh tính toán của hàm NURBS làm tăng câu hỏi về cách thực hiện hiệu quả hàm NURBS trong các chương trình FEM hiện tại do sự khác biệt đáng kể giữa hàm cơ sở NURBS và Lagrange. Trích Bézier được thành lập trên các hàm cơ sở của NURBS theo các đa thức C0 Bernstein. Trích Lagrange tương tự như trích xuất Bézier nhưng nó thiết lập một kết nối trực tiếp giữa các hàm cơ bản đa thức NURBS và Lagrange thay vì sử dụng đa thức C0 Bernstein như một hàm hình dạng mới trong trích xuất Bézier. Kết quả bằng số của các vấn đề cấu trúc được so sánh với các giải pháp phân tích hoặc có sẵn khác để chứng minh độ tin cậy và hiệu quả của các phương pháp này.

Phương pháp trực tiếp dẫn đến giới hạn dẻo và giới hạn thích nghi trực tiếp. Chúng giúp giảm đáng kể chi phí tính toán và sai số, và làm cho giải pháp đơn giản hơn.

1. **Những đóng góp mới của đề tài**

Theo kiến ​​thức của tác giả, những đóng góp ban đầu của luận án là:

* Nghiên cứu phương pháp đẳng hình học dựa trên trích Bézier và Lagrange của NURBS. Nghiên cứu xây dựng quy trình tính toán số cho bài toán giới hạn và thích nghi của kết cấu dựa trên phương pháp đẳng hình học kết hợp với giải thuật primal-dual cho bài toán cận trên (upper bound) và giả cận dưới (quasi-lower bound).
* Xây dựng công thức theo đường lối tiếp cận thích nghi động học giản yếu để giải quyết bài toán 2D, 3D và đối xứng trục cho các kết cấu làm từ vật liệu đàn dẻo lý tưởng dựa trên tiêu chuẩn von Mises.
* Cải thiện hiệu quả quy trình phân tích giới hạn và thích nghi được đề xuất bằng cách tích hợp một số lợi thế của phương pháp đẳng hình học về xấp xỉ hàm bậc cao, hình học chính xác và kết nối cơ sở spline trơn với cơ sở đa thức Lagrange C0 hoặc cơ sở Berstein thông qua trích xuất NURBS của Bézier dẫn đến các giải pháp chính xác hơn so với các giải pháp khác có sẵn.
* Phát triển phương pháp phần tử hữu hạn đẳng hình học dựa trên trích xuất Bézier và Lagrange của NURBS cho bài toán phân tích giới hạn và thích nghi của kết cấu.

**INFORMATION ON RESEARCH RESULTS**

Dissertation title: **ISOGEOMETRIC FINITE ELEMENT METHOD FOR LIMIT AND SHAKEDOWN ANALYSIS OF STRUCTURES**

Major : Engineering Mechanics Major code: 9520101

PhD candidate : Do Van Hien

The first supervisor: Prof. PhD. Nguyen Xuan Hung

The second supervisor: Assoc. Prof. PhD. Van Huu Thinh

Training place: Falculty of Civil, HCMC University of Technology and Education

1. **Summary of the dissertation**

The structural safety such as nuclear power plants, chemical industry, pressure vessel engineering and so on can commonly be evaluated with the help of limit and shakedown analysis. Nowadays, the limit and shakedown analysis plays a well-known role in not only assessing the safety of engineering structures but also designing of the engineering structures. We can determinate the limit load multipliers using lower or upper bound method. In order to ultilize the limit and shakedown analysis in many practical engineering areas, the development of numerical tools which are sufficiently efficient and robust is a neccessary of current research in the field of limit and shakedown analysis. The numerical tools involve the two steps: finite element discretisation strategy and constrained optimization.

In this research, the isogeometric finite element method is used to discretise the displacement domain of strutures in the first step. The primal-dual algorithm based upon the von Mises yield criterion and a Newton-like iteration is used in the second step to solve optimization problem. Mathematically, the shakedown problem is considered as a nonlinear programming problem. Starting from upper bound theorem, shakedown bound is the minimum of the plastic dissipation function, which is based on von Mises yield criterion, subjected to compatibility, incompressibility and normalized constraints. This constraint nonlinear optimization problem is solved by combined penalty function and Lagrange multiplier methods.

The isogeometric analysis (IGA) uses NURBS basis functions for both the representation of the geometry and the approximation of solutions. The main aim of the IGA was to integrate Finite Element Analysis (FEA) into NURBS based Computer Aid Design (CAD) design tools. The Bézier and Lagrange extraction of NURBS was used in the analysis due to The computational aspects of the NURBS function increase the question of how to implement efficiently the NURBS function in the existing FEM codes due to a significant differences between the NURBS basis function and the Lagrange function. The Bézier extraction is founded on the NURBS basis functions in terms of C0 Bernstein polynomials. Lagrange extraction is similar to Bézier extraction but it sets up a direct connection between NURBS and Lagrange polynomial basis functions instead of using C0 Bernstein polynomials as a new shape function in the Bézier extraction. Numerical results of structure problems are compared with analytical or other available solutions to prove the reliability and efficiency of these approaches. The results obtained in this research show a good agreement with the reference solutions and compared very well with other available ones. Direct methods lead to plastic limit and shakedown bounds directly. They help to reduce considerably computing costs and numerical errors, and make the solution simpler.

Pressure vessel which is designed to hold liquids or gases contains various parts such as thin walled vessels, thick walled cylinders, nozzle, head, nozzle head, skirt support and so on. Two types of defects, axial and circumferential cracks, are commonly found in pressure vessel and piping. The application of shakedown analysis in pressure vessel engineering is illustrated in this study.

1. **The contributions of the dissertation**

According to the author’s knowledge, the original contributions of the thesis are:

* Development of a kinematic limit and shakedown analysis formulation based on isogeometric analysis by Bézier extraction or Lagrange of extraction NURBS.
* Development of a novel numerical approach for evaluating limit and shakedown load factors of 2D, 3D structures and pressure vessel components for application in piping engineering.
* Improvement of the efficiency of the proposed limit analysis and shakedown procedures by integration of some advantages of the IGA in terms of flexibility in refinement, exact geometry and connection the smooth spline basis to the C0 Lagrange polynomials basis or Berstein basis through Bézier extraction of NURBS that lead the more accurate solutions in comparison with other available.
* Investigation of the isogeometric analysis based on Bézier extraction and Lagrange extraction which can integrate IGA into the existing FEM codes in combination with primal-dual algorithm in computation of limit and shakedown load factors.