

# BẢO VỆ CÔNG TRÌNH CÓ KẾT CẤU KHUNG CHỊU LỰC TRÁNH BỊ PHÁ HỦY DÂY CHUYỀN

TS. NGUYỄN NGỌC NAM

**Phá hủy dây chuyền là hiện tượng rất nguy hiểm đối với các công trình xây dựng, tuy nhiên ở Việt Nam chưa có nhiều các nghiên cứu về vấn đề này. Bài báo trình bày về giải pháp sử dụng khối cứng để bảo vệ các tòa nhà khung, tránh sự sụp đổ dây chuyền. Đưa ra phương pháp thiết kế công trình chống phá hủy dây chuyền có kể đến tính phi tuyến vật lý và phi tuyến hình học sử dụng phần mềm tính toán kết cấu LIRA.**

**P**há hủy dây chuyền là hiện tượng một hoặc một vài cấu kiện chịu lực bị phá hủy, dẫn tới các cấu kiện còn lại bị quá tải và tiếp tục bị phá hủy, kết quả là toàn bộ hoặc một phần công trình (với quy mô lớn so với hư hại ban đầu) sụp đổ. Có thể hình dung rất dễ hiểu quá trình phá hủy dây chuyền qua trò chơi domino. Khi một quân domino đầu tiên đổ, nó sẽ làm đổ quân domino lân cận nó, quá trình cứ tiếp tục như vậy cho đến khi các quân domino đổ hết. Do đó, trên thế giới hay dùng khái niệm “Domino effect” để mô tả hiện tượng sụp đổ dây chuyền. Ngoài ra, người ra còn dùng thuật ngữ “Phá hủy chuỗi”.

Sự phá hủy có thể được gây ra bởi các trường hợp khẩn cấp, các tác động đặc biệt không được xem xét trong thiết kế thông thường. Đồng thời, các tác động do động đất, hỏa hoạn, gió mạnh được đưa vào tiêu chuẩn, quy chuẩn xây dựng cũng không được dẫn đến tình trạng sụp đổ dây chuyền.

Trong khi các vấn đề về bảo vệ chống lại sự phá hủy dây chuyền cho các tòa nhà có hệ kết cấu tường chịu lực đã được nghiên cứu khá nhiều, các



phương pháp tính toán, hướng dẫn thiết kế đã được phát triển và khá nhiều ví dụ về các trường hợp khẩn cấp đã xác nhận tính hiệu quả của

chúng, hiện chưa có nhiều giải pháp tương tự cho các tòa nhà và công trình có hệ kết cấu khung chịu lực.

Tiêu chuẩn xây dựng ở một số nước [2, 3] khuyến cáo tất cả các công trình bê tông cốt thép toàn khối trong quá trình thiết kế nên được đánh giá khả năng chống phá hủy dây chuyền của hệ kết cấu. Các tiêu chuẩn xây dựng hiện chưa đưa ra các phương pháp đánh giá, tuy nhiên, có khuyến cáo tính toán các hệ kết cấu bằng phương pháp phần tử hữu hạn sử dụng các phần mềm tính toán kết cấu chuyên dụng.

Việc thiết kế công trình bằng các phần mềm tính toán kết cấu nên được thực hiện có kể đến tính phi tuyến vật lý và hình học của các đặc tính độ cứng của các phần tử, điều này đảm bảo độ chính xác cao nhất trong tính toán và giảm được chi phí kết cấu. Nên sử dụng mô hình thiết kế không gian, trong đó có thể tính đến các phần tử không chịu lực trong điều kiện hoạt động bình thường (tường ngoài...), nhưng trong trường hợp khẩn cấp có thể chịu các tải trọng, tác động đặc biệt và tham gia tích cực vào việc phân bố lại nội lực trong các phần tử của hệ kết cấu. Các nhà phát triển hệ thống phần mềm tính toán kết cấu SCAD và LIRA của Liên bang Nga đưa ra các phương pháp tính toán của riêng họ. Tuy nhiên, độ tin cậy của các kết quả thu được vẫn chưa được khẳng định và cần phải được nghiên cứu thêm.

Trước đây, Liên bang Nga phát triển một số tài liệu hướng dẫn, trong đó đã đưa ra các phương pháp và ví dụ tính toán sử dụng phương pháp động học của lý thuyết cân bằng giới hạn và các khuyến nghị để bảo vệ chống lại sự phá hủy dây chuyền cho các loại công trình như: nhà sử dụng panen tấm lớn, nhà có hệ chịu lực bằng tường gạch, nhà khung bê tông cốt thép toàn khối, nhà cao tầng, kết cấu nhịp lớn. Các tài liệu hướng dẫn có nội dung tương tự nhau, chỉ khác nhau một chút ở phần giải pháp thiết kế, trong đó có tính đến đặc thù riêng của từng loại công trình.

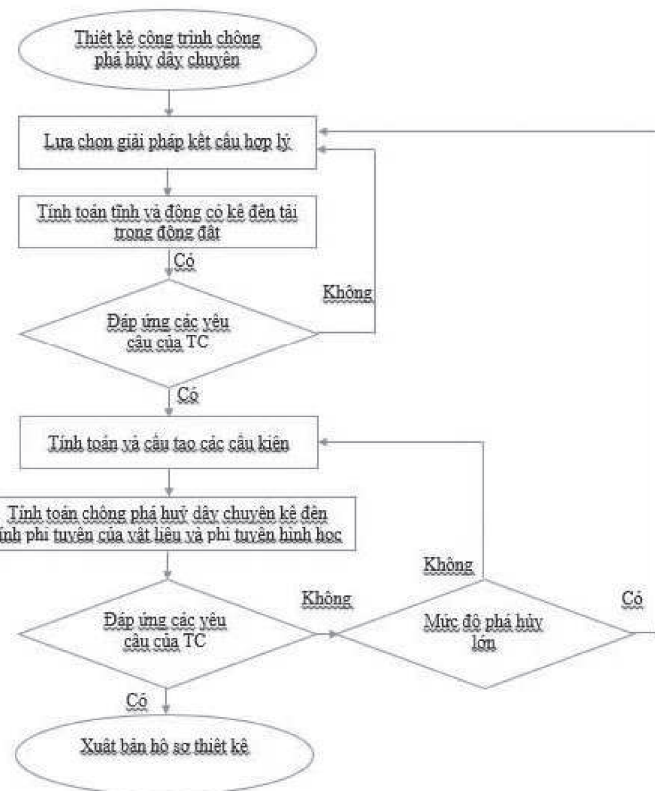
Phương pháp tính đề xuất dựa trên phương pháp động học của lý thuyết

cân bằng giới hạn có khối lượng tính toán rất lớn khi áp dụng vào thực tế. Khi xem xét các phương án giải pháp quy hoạch không gian phức tạp, hình thức phá hủy nguy hiểm nhất phải được thiết lập bằng cách lựa chọn tất cả các phương án phá hủy cục bộ có thể xảy ra. Tài liệu hướng dẫn không cung cấp phương pháp luận để đánh giá độ võng và chuyển vị của tấm sàn.

Sự cần thiết phải xây dựng các tài liệu hướng dẫn xuất hiện sau khi các yêu cầu về an toàn cháy nổ được thắt chặt. Các biện pháp đáp ứng các yêu cầu của quy định về phòng cháy chỉ bảo vệ các phần tử riêng lẻ của tòa nhà khỏi ảnh hưởng của cháy và trong trường hợp khẩn cấp khác, chúng có thể vô dụng. Do đó, cần thiết phải bảo vệ toàn bộ tòa nhà khỏi sự phá hủy dây chuyền trong bất kỳ trường hợp khẩn cấp nào, và các yêu cầu về khả năng chống cháy của các bộ phận kết cấu riêng lẻ được hiểu có tính đến việc bảo vệ toàn bộ công trình xây dựng tránh sự phá hủy dây chuyền.

Các chuyên gia từ các nước khác nhau có chung quan điểm rằng sự ổn định của một tòa nhà chống lại sự phá hủy dây chuyền cần được đảm bảo bằng một loạt các biện pháp như:

- Các biện pháp an ninh phòng ngừa;
  - Các giải pháp quy hoạch và kết cấu hợp lý của tòa nhà, có tính đến khả năng xảy ra các trường hợp khẩn cấp;
  - Các biện pháp đảm bảo tính liên tục của hệ thống kết cấu của tòa nhà;
  - Việc sử dụng các vật liệu và giải pháp thiết kế đảm bảo sự phát triển của biến dạng dẻo trong các phần tử kết cấu và các mối nối của chúng;
  - Các biện pháp tương tự như bảo vệ các tòa nhà khỏi tác động của địa chấn.
- Trong các Tài liệu hướng dẫn, vấn đề về các giải pháp kết cấu và quy hoạch đã không xem xét. Không có thuật toán thống nhất cho việc thiết kế các tòa nhà và công trình được bảo vệ khỏi sự sụp đổ dây chuyền. Không có phương pháp tính toán thống nhất trong các phần mềm tính toán. Thực tế, có rất ít các nghiên cứu được xuất bản gần đây về chủ đề khả năng sống sót của các



Hình 1. Sơ đồ khối tính toán kết cấu chống phá hủy dây chuyền

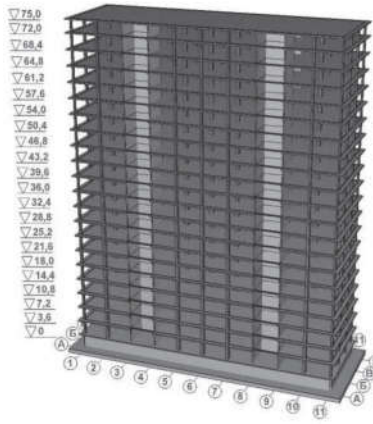
công trình. Thực tiễn thiết kế cho thấy nhu cầu cấp thiết về các giải pháp kỹ thuật đơn giản không yêu cầu phân tích chi tiết từng kết cấu cụ thể. Sơ đồ khối sau đây được đề xuất để tính toán các kết cấu chống phá hủy dây chuyền (Hình 1).

Việc tính toán ổn định của công trình chống lại sự sụp đổ dây chuyền phải được thực hiện đối với tổ hợp tải trọng đặc biệt, với các giá trị tiêu chuẩn của tải trọng thường xuyên và dài hạn. Các đặc trưng về cường độ và biến dạng của vật liệu cũng được lấy với giá trị tiêu chuẩn của chúng.

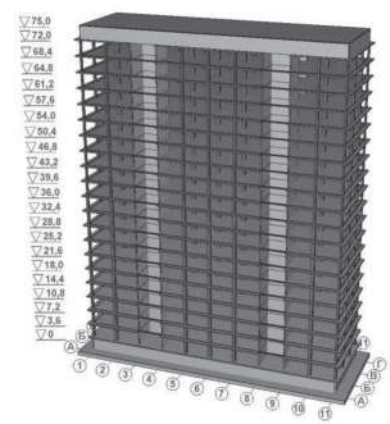
Việc tính toán cần được thực hiện với tất cả các sơ đồ phá hủy cục bộ nguy hiểm nhất. Trong đó, giá trị của biến dạng và chiều rộng của vết nứt trong kết cấu không được quy định.

Cột là yếu tố then chốt của các tòa nhà và công trình có hệ kết cấu khung chịu lực. Với lưới cột thông thường, sự sụp đổ của cột dẫn đến sự gia tăng gấp hai lần nhịp của kết cấu. Mômen trong kết cấu dầm phía trên cột bị phá hủy có thể tăng lên đến bốn lần. Cách tiếp cận trực tiếp để bảo vệ các kết cấu như vậy khỏi sự phá hủy dây chuyền, được đưa ra trong các tài liệu khác nhau [1, 4], dẫn đến việc tăng mức tiêu thụ cốt thép lên 2-2,5 lần.

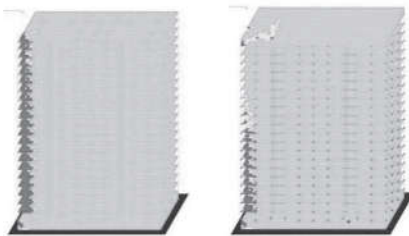
Trong bài báo này đề xuất giải pháp sử dụng các khối cứng (tầng cứng) theo chiều cao công trình để bảo vệ các tòa nhà khung tránh bị sụp đổ dây chuyền mà không làm tăng đáng kể việc tiêu thụ vật liệu. Trong trường hợp này, các cột của khung không chỉ được tính toán như cấu kiện chịu nén lệch tâm trong quá trình hoạt động bình thường của chúng mà còn như cấu kiện chịu kéo xảy ra trong trường hợp khẩn cấp. Trong trường hợp này, các tấm tường của khối cứng làm việc như các dầm cao, chịu tải trọng từ các cột bị kéo và các tấm sàn treo. Cách tiếp cận này có thể làm giảm đáng kể khối lượng kết cấu bị phá hủy.



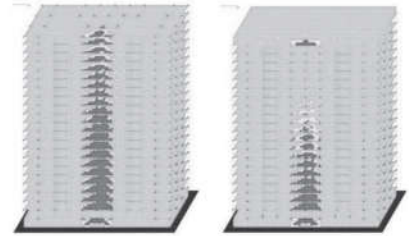
Hình 2. Mô hình không có khối cứng



Hình 3. Mô hình có khối cứng



Hình 4. Phá hủy cột góc



Hình 5. Phá hủy cột biên

Xem xét ví dụ cụ thể hai phương án kết cấu của một công trình: Công trình 20 tầng với hệ kết cấu khung chịu lực thông thường với lưới cột 6 m x 6 m và một công trình tương tự có tầng kỹ thuật phía trên là một khối cứng (tầng cứng). Mô hình kết cấu của hai phương án này được thể hiện trên Hình. 2-3.

Sử dụng phần mềm tính toán kết cấu LIRA để mô phỏng và tính toán có kể đến phi tuyến vật lý và hình học hai công trình nêu trên với 03 trường hợp phá hoại một trong ba cột được xem xét tại tầng 1.

Các bước chính của phương pháp tính toán theo phá hủy dây chuyền trong phần mềm tính toán kết cấu LIRA như sau:

1. Lập mô hình tính toán kết cấu công trình có tính đến các điều kiện biên. Lựa chọn loại phần tử hữu hạn thích hợp để có thể kể đến tính phi tuyến vật lý và hình học trong tính toán, phân tích kết cấu (ví dụ, 410, 442, 444). Khai báo độ cứng cho các phần tử có kể đến tính phi tuyến và các thông số của vật liệu.

2. Hai trường hợp gia tải được gán lên mô hình tính toán: trường hợp thứ nhất mô phỏng tải trọng thường xuyên và dài hạn tác dụng lên kết cấu, trường hợp thứ hai cho phép tính đến yếu tố động lực học. Để làm được điều này, gán một lực vào nút trên của cột bị phá hủy, lực này bằng một phần của lực xuất hiện trong trong cột này dưới tác dụng của tải trọng từ lần gia tải đầu tiên.

3. Mô hình hóa các giai đoạn phá hủy với sự trợ giúp của "Mounting Tables". Hai giai đoạn phá hủy được hình thành. Giai đoạn đầu có sự tham gia làm việc của tất cả các kết cấu, không có ngoại lệ. Giai đoạn thứ hai – loại bỏ sự tham gia làm việc của cột bị phá hủy.

4. Để thực hiện tính toán, phân tích phi tuyến hệ kết cấu có tính đến các giai đoạn làm việc, cần khai báo số lượng trường hợp tải gia tải phi tuyến bằng số giai đoạn làm việc. Đối với trường hợp gia tải phi tuyến tính thứ hai, phải tính đến trường hợp gia tải trước đó.

Kết quả của việc tính toán là nội lực, ứng suất và chuyển vị ở mỗi giai đoạn

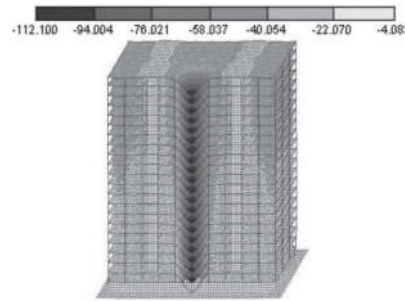
tác dụng của tải trọng, các dạng vết nứt trên tường và sàn, vị trí hình thành khớp dẻo, thông tin về các phần tử bị phá hủy đầu tiên. Phần mềm cho phép xác định tải trọng tương ứng với thời điểm phần tử kết cấu đầu tiên bị phá hủy và từ đó có thể đánh giá dự phòng về khả năng chịu lực.

Kết quả phân tích về sự phá hoại dây chuyền được hiển thị trên hình 4-5. Trong đó: các phần tử màu xanh lục là phần tử không bị phá hủy với hệ số sử dụng tối đa các giới hạn  $K_{max} < 1$ ; các phần tử màu đỏ là phần tử bị phá hủy với hệ số sử dụng tối đa các giới hạn  $K_{max} \geq 1$ ; các phần tử màu vàng là phần tử rơi vào khoảng không xác định, tức là có thể được quy về cùng một xác suất cho cả trường hợp bị và không bị phá hủy. Giá trị của khoảng không xác định do kỹ sư thiết kế định trước.

Khi áp dụng phương pháp tính toán bán tĩnh, việc xác định hệ số động thuộc về trách nhiệm của người kỹ sư. Ví dụ về các kết quả về chuyển vị cho hai sơ đồ khi cột biên bị phá hủy được hiển thị trên hình 6-7. Giá trị dịch chuyển tối đa giảm 2 lần: 112 mm đối với sơ đồ không có khối cứng so với 56 mm đối với sơ đồ có khối cứng.

Kết quả tính toán theo phương pháp động học của lý thuyết cân bằng giới hạn gần với kết quả thu được trong phần mềm tính toán kết cấu LIRA, điều này khẳng định khả năng sử dụng phần mềm để tính toán các bài toán dạng này.

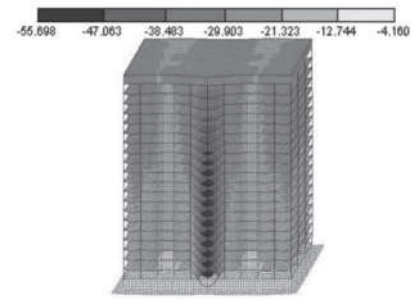
Cần lưu ý rằng trong công tác thiết kế



Hình 6. Biến dạng theo phương đứng cho mô hình không có khối cứng

truyền thống, việc tính toán với từng phần tử được thực hiện, tức là độ tin cậy cần thiết của từng phần tử riêng lẻ được đảm bảo. Đồng thời, độ tin cậy được hiểu là đặc tính của công trình đảm bảo các chức năng đặt ra cho nó với chất lượng cần thiết, trong suốt thời gian sử dụng được định trước. Phương pháp kiểm tra từng phần tử này được gọi là phương pháp phần tử yếu nhất, trong thực tế không phải lúc nào cũng có thể chỉ ra được khả năng chịu lực của hệ kết cấu. Vì không thể xác định độ tin cậy của toàn bộ hệ kết cấu do khối lượng tính toán quá lớn, độ tin cậy của toàn bộ hệ kết cấu được đánh giá thông qua độ tin cậy của các phần tử riêng lẻ của nó. Do đó, không thể đưa ra câu trả lời chính xác về độ tin cậy thực tế của hệ kết cấu được thiết kế.

Với sự phát triển của các phần mềm tính toán kết cấu dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn, các kỹ sư có khả năng tiếp cận một công cụ mạnh mẽ để nghiên cứu và phân tích chi tiết sự làm việc của hệ kết cấu, có khả năng nhanh chóng so sánh một vài phương



Hình 7. Biến dạng theo phương đứng cho mô hình có khối cứng

án thiết kế và lựa chọn phương án hợp lý nhất đảm bảo công trình có khả năng chịu các tải trọng và tác động thường gặp và chống lại phá hủy dây chuyền.

**Từ khóa:** Phá hủy dây chuyền, khối cứng, phần mềm tính toán kết cấu LIRA.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Cao Duy Khôi, *Sụp đổ (Phá hủy) dây chuyền - một số vấn đề nghiên cứu trên thế giới và cần quan tâm trong xây dựng Việt Nam*, Tạp chí KHCN Xây dựng, số 4, 2011.
2. СП 385.1325800.2018. ЗАЩИТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ОТ ПРОГРЕССИВНОГО ОБРУШЕНИЯ. Правила проектирования. Основные положения/ Tiêu chuẩn Nga SP 385.1325800.2018. Bảo vệ nhà và công trình tránh sự phá hoại dây chuyền. Nguyên lý thiết kế. Các điều khoản cơ bản.
3. *Best Practise for Reducing the Potential for Progressive Collapse in Building*. National Institute of Standards and Technology, 2007/ Các biện pháp hiệu quả để giảm khả năng sụp đổ dây chuyền trong tòa nhà. NIST, 2007.
4. UFC 4-023-03. *Unified Facilities Criteria (UFC). Design of Buildings to Resist Progressive Collapse*. Department of Defense USA, 2005/ UFC 4-023-03. UFC. Thiết kế các công trình chống lại sự sụp đổ dây chuyền. Bộ Quốc phòng Hoa Kỳ, 2005.

## Protection of frame buildings from progressive collapse

**Abstract:** Progressive Collapse is a very dangerous phenomenon for construction works, however, in Vietnam, there have not been many studies on this issue. The article presents the solution of using rigid blocks to protect frame buildings from chain collapse and design methods of anti-destructive works taking into account the physical nonlinearity and geometrical nonlinearity using the using LIRA structural calculation software.

**Keywords:** Progressive Collapse, hard block, software for calculating structure LIRA

\* Khoa Xây dựng - Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội