

Hệ con lắc thăng bằng trong công trình nhà cao tầng, nhà siêu cao tầng - một trong những giải pháp hiệu quả giảm thiểu các dao động và đảm bảo an toàn cho công trình

Balanced pendulum system in high-rise buildings and super-high-rise buildings -
One of the effective solutions to minimize oscillations and ensure construction safety

Trịnh Xuân Vinh

Tóm tắt

Bài báo này giới thiệu về ứng dụng hệ con lắc thăng bằng trong các nhà cao tầng, siêu cao tầng trên Thế giới để giữ ổn định cho các tòa nhà. Trong thời đại đô thị hóa phát triển các đô thị các thành phố lớn thì nhu cầu xây dựng các tòa nhà cao tầng và siêu cao tầng ngày càng là một xu thế tất yếu để đáp ứng nhu cầu ở và làm việc. Việc giữ cho các tòa nhà được an toàn, ổn định ngày càng được quan tâm, các giải pháp thi công trong đó giải pháp dùng hệ con lắc thăng bằng là một trong những giải pháp được sử dụng và chứng minh tính hiệu quả trong thực tế sử dụng về tăng khả năng giữ ổn định và an toàn kết cấu cũng như tăng tuổi thọ của công trình.

Từ khóa: Hệ con lắc thăng bằng; nhà cao tầng, nhà siêu cao tầng, ổn định, an toàn kết cấu

Abstract

: The paper presents the application of balancing pendulum systems in high-rise and super-high-rise buildings in the world to keep buildings stable. In the era of urbanization and development of large cities, the need to build high-rise and super-high-rise buildings is increasingly an inevitable trend to meet living and working needs. Keeping buildings safe and stable is increasingly of concern, construction solutions in which the solution of using a balanced pendulum system is one of the solutions used and proven effective in practice. Economical in terms of increasing structural stability and safety as well as increasing the longevity of the project.

Key words: Balanced pendulum system; High-rise buildings, super high-rise buildings, stable, structural stability and safety

Ths. Trịnh Xuân Vinh

Viện công nghệ Kiến trúc, xây dựng và đô thị
Email: trinxvinh2603@gmail.com
Tel: 0904330488

Ngày nhận bài: 17/5/2024
Ngày sửa bài: 21/5/2024
Ngày duyệt đăng: 23/05/2024

1. Giới thiệu

Trong bối cảnh đô thị hóa và phát triển kinh tế toàn cầu, các công trình xây dựng nhà cao tầng và siêu cao tầng trở thành biểu tượng của sự tiến bộ và thịnh vượng. Tuy nhiên, cùng với sự phát triển này là những thách thức về kết cấu và an toàn, đặc biệt khi đối mặt với các lực động như gió bão và động đất. Giải pháp dùng hệ con lắc thăng bằng (Tuned Mass Damper - TMD) đã nổi lên như một giải pháp hiệu quả để giảm thiểu các rung động này, đảm bảo an toàn và ổn định cho các công trình cao tầng.

2. Nguyên lý hoạt động

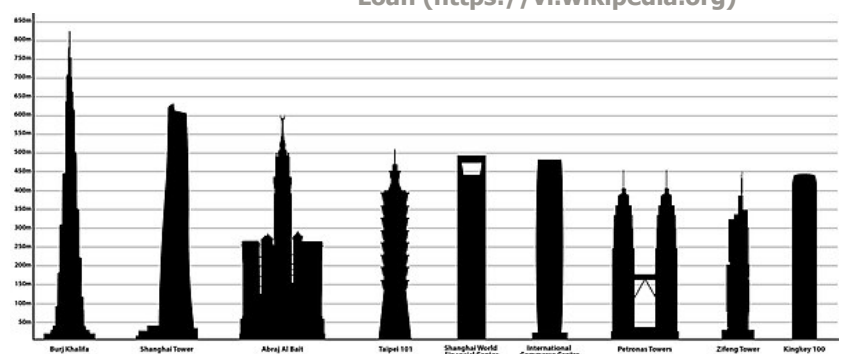
Hệ con lắc thăng bằng (TMD) hoạt động dựa trên nguyên lý hấp thụ và tiêu tán năng lượng dao động. Một hệ thống TMD cơ bản bao gồm một khối lượng lớn (mass) được điều chỉnh (tuned) gắn kết với tòa nhà thông qua các hệ thống lò xo và giảm chấn. Khi tòa nhà dao động do tác động của các lực ngoại vi như gió hoặc động đất, khối lượng này sẽ dao động ngược pha với tòa nhà, tạo ra lực ngược lại để giảm biên độ dao động. Hiệu quả của TMD phụ thuộc vào khả năng điều chỉnh khối lượng, độ cứng của lò xo và độ giảm chấn để tối ưu hóa việc hấp thụ năng lượng dao động.

Hệ thống TMD bao gồm ba thành phần chính:

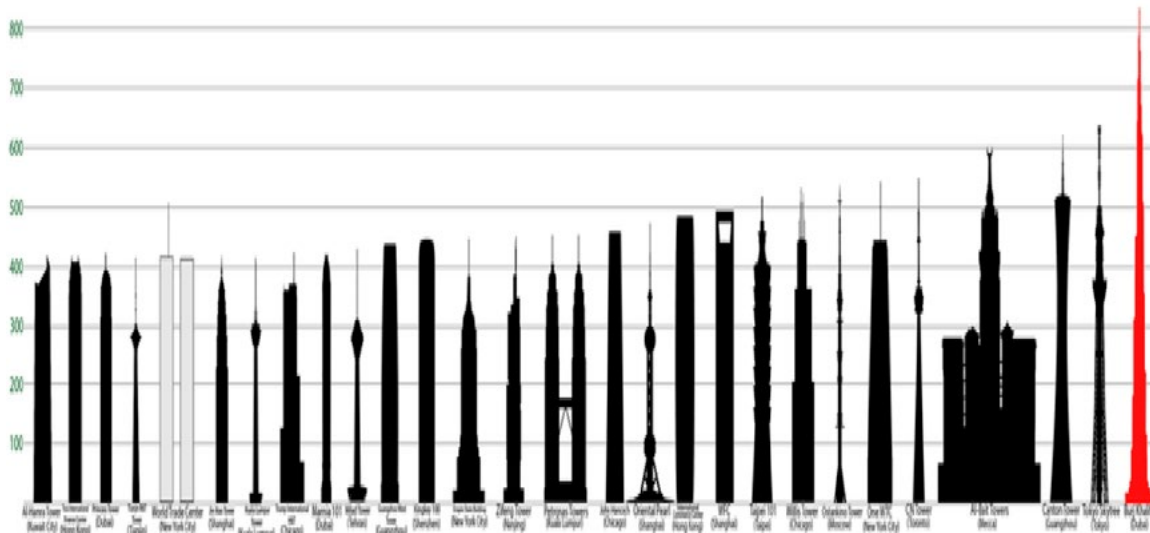
Khối Lượng (Mass): Đây thường là một khối thép hoặc bê tông nặng, được đặt ở phần trên của tòa nhà.



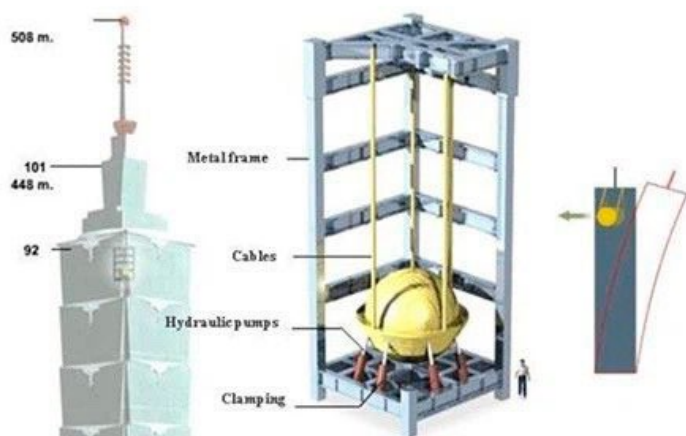
Hình 1. Tòa tháp Taipei101 Tower -Đài Loan (<https://vi.wikipedia.org>)



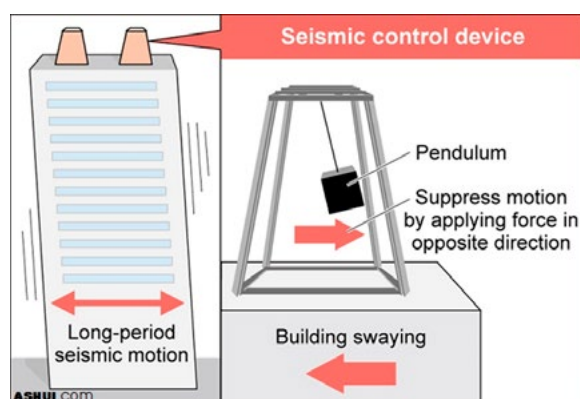
Hình 2. Một số tòa nhà cao nhất tại châu Á (<https://vi.wikipedia.org>).



Hình 3. Một số tòa nhà cao nhất Thế giới (<https://vi.wikipedia.org>)



Hình 4. Taipei101 Tower sử dụng một damper khối lượng điều chỉnh (<http://vn.shtydamper.com>)



Hình 5. Sơ đồ Hệ con lắc thép khổng lồ tòa nhà Shinjuku Mitsui - Nhật Bản

Hệ Thống Lò Xo (Spring System): Hệ thống này kết nối khối lượng với kết cấu của tòa nhà và cho phép khối lượng dao động.

Giảm Chấn (Dampers): Giúp tiêu tán năng lượng dao động của khối lượng, từ đó giảm thiểu biên độ dao động của tòa nhà.

3. Thiết kế và tính toán hệ TMD

Việc thiết kế hệ thống TMD đòi hỏi các kỹ sư phải thực hiện các bước sau:

- **Xác Định Tần Số Dao Động Tự Nhiên Của Tòa Nhà:** Tần số này được xác định thông qua các mô hình phân tích động lực học.

- **Lựa Chọn Khối Lượng TMD:** Khối lượng của TMD thường chiếm khoảng 1-5% khối lượng của tòa nhà.

- **Điều Chỉnh Độ Cứng Lò Xo và Giảm Chấn:** Các thông số này phải được điều chỉnh sao cho tần số dao động của TMD khớp với tần số dao động của tòa nhà.

4. Giải pháp thi công hệ TMD

4.1. Khảo Sát và Phân Tích dao động của tòa nhà dưới tác dụng của gió, động đất:

Trước khi lắp đặt hệ TMD, các kỹ sư cần thực hiện khảo sát và phân tích kết cấu của tòa nhà dưới tác dụng của gió, động đất. Điều này giúp xác định vị trí tối ưu để đặt hệ thống TMD và đảm bảo rằng tòa nhà có thể chịu được tải trọng bổ sung và các tải trọng bất lợi khác.

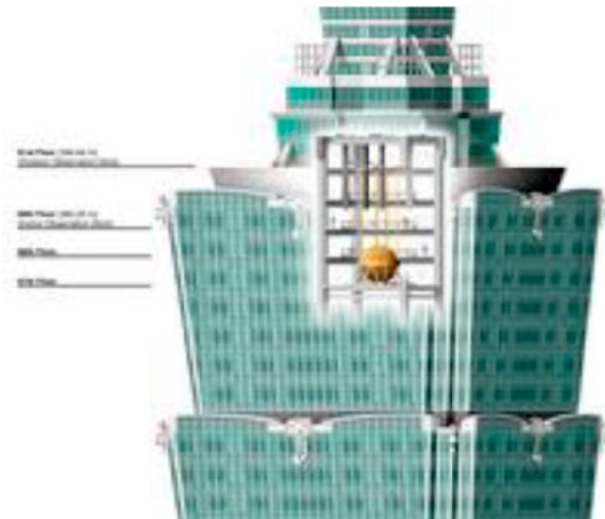
4.2. Lựa Chọn Vật Liệu:

Vật liệu chế tạo hệ thống TMD phải đảm bảo tính bền vững và khả năng chịu lực tốt. Thép và bê tông thường được sử dụng cho khối lượng, trong khi lò xo và giảm chấn có thể được làm từ các hợp kim đặc biệt có tính đàn hồi cao.

4.3. Lắp Đặt Hệ Thống TMD:

- **Lắp Đặt Khối Lượng:** Khối lượng được đặt ở tầng cao nhất hoặc gần đỉnh của tòa nhà. Việc lắp đặt yêu cầu các thiết bị nâng hạ chuyên dụng và đội ngũ kỹ sư giàu kinh nghiệm.

- **Lắp Đặt Hệ Thống Lò Xo và Giảm Chấn:** Lò xo và giảm chấn được lắp đặt và kết nối chính xác với khối lượng và kết



Hình 6. Vị trí thiết bị giảm chấn khối lượng điều chỉnh Tòa nhà Taipei 101, Đài Loan (<https://vi.wikipedia.org>)

cấu tòa nhà, đảm bảo hệ thống hoạt động đúng theo thiết kế.

4.4. Hiệu Chỉnh và Kiểm Tra Hệ Thống:

Sau khi lắp đặt, hệ thống TMD cần được hiệu chỉnh để đạt được tần số dao động tối ưu. Các kỹ sư sử dụng các công cụ phân tích động lực học để kiểm tra và điều chỉnh hệ thống cho phù hợp với điều kiện thực tế.

4.5. Bảo Trì và Giám Sát:

Hệ thống TMD cần được kiểm tra và bảo trì định kỳ để đảm bảo hoạt động hiệu quả. Các cảm biến giám sát được lắp đặt để theo dõi tình trạng của hệ thống và cảnh báo sớm các vấn đề tiềm ẩn.

5. Ứng dụng thực tế

Công nghệ TMD đã được triển khai thành công trong nhiều công trình nổi tiếng trên thế giới:

3.1. Taipei 101, Đài Loan: Tòa nhà cao 509 mét này sử dụng một hệ thống TMD với một quả cầu thép nặng 660 tấn

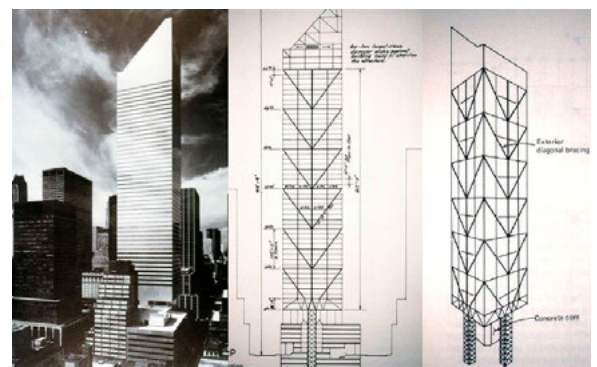
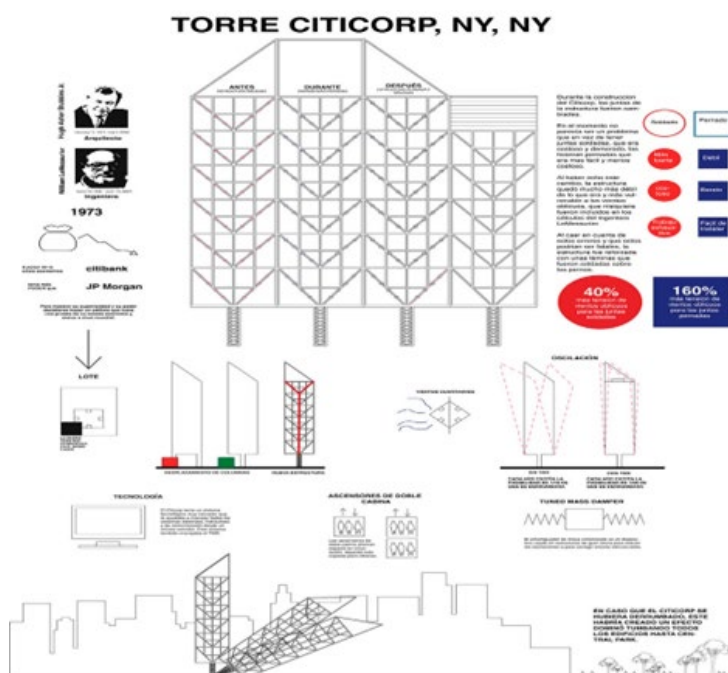
treo từ tầng 92 đến tầng 87, C.Y. Lee & Partners và RWDI đã thiết kế một con lắc bằng thép đóng vai trò như một van điều tiết khối lượng được điều chỉnh. Quả bóng giảm chấn khối lượng lớn nhất thế giới, bao gồm 41 tấm thép hình tròn có đường kính khác nhau, mỗi tấm dày 125 mm, được hàn lại với nhau để tạo thành một quả bóng đường kính 5,5 m, giúp giảm dao động do gió và động đất lên đến 40%. Hệ thống này giúp giảm rung động do gió bão và động đất, đảm bảo an toàn cho tòa nhà và cư dân bên trong.

3.2. Citigroup Center, New York, Mỹ: Với chiều cao 279 mét, tòa nhà này sử dụng một hệ thống TMD nặng 400 tấn để giảm thiểu dao động do gió. Hệ thống TMD này đã chứng minh hiệu quả trong việc duy trì sự ổn định của tòa nhà ngay cả trong điều kiện gió mạnh.

3.3. Shanghai Tower, Trung Quốc: Là tòa nhà cao thứ hai thế giới với chiều cao 632 mét, Shanghai Tower được trang bị một hệ thống TMD khổng lồ nặng 1.000 tấn, giúp giảm biên độ dao động đến 50%. Hệ thống này giúp giảm thiểu tác động của gió mạnh và động đất, bảo vệ tòa nhà và tăng cường độ an toàn cho cư dân.

6. Phát triển công nghệ TMD

Các nghiên cứu và phát triển gần đây đã tập trung vào việc cải tiến hiệu quả và ứng dụng của hệ thống TMD. Một số hướng nghiên cứu đáng chú ý bao gồm:



Engineer William LeMessurier designed the structure of the Citicorp Tower as a braced perimeter frame with long diagonals on the facades in a chevron pattern (eight floors high) collecting and transferring the floor loads to the center of each face where the mega-columns below are located. These facade trusses collect about 1/2 of the gravity loads and resist the entire wind loads on the building. At the base of the tower, where the chevrons end, a diagonally braced transfer floor is required to transfer the wind shear (resisted by the chevron trusses) to the central concrete core.

Hình 7. Tòa nhà Citigroup Center, New York, Mỹ (<https://www.bybuildingdesign.com>)

- TMD với độ cứng biến đổi: Công nghệ này cho phép điều chỉnh độ cứng của lò xo trong hệ thống TMD để phù hợp với các điều kiện dao động khác nhau, tăng cường hiệu quả giảm chấn.

- TMD sử dụng inerter: Một cải tiến mới là thay thế khối lượng trong TMD bằng một inerter, giúp giảm đáng kể trọng lượng hệ thống và cải thiện hiệu quả hấp thụ năng lượng dao động.

7. Lợi ích và thách thức

Công nghệ TMD mang lại nhiều lợi ích quan trọng, bao gồm:

- Tăng cường an toàn và ổn định: Giảm đáng kể biên độ dao động, giúp tăng cường an toàn cho cư dân và nhân viên trong tòa nhà.

- Bảo vệ kết cấu: Giảm mệt mỏi và hư hỏng của kết cấu do dao động lâu dài, kéo dài tuổi thọ của công trình.

Các điều này đã được minh chứng rất rõ nét như:

Tòa nhà Taipei 101- Đài Loan vẫn đứng vững trong trận động đất mạnh 7,4 độ richter xảy ra ngày 3/4/2024.

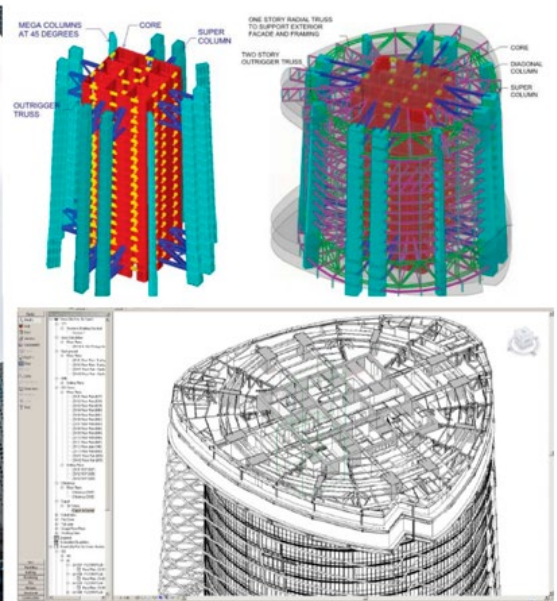
Tuy nhiên, việc thi công và lắp đặt TMD cũng đặt ra một số thách thức:

- Chi phí cao: Việc thiết kế và lắp đặt hệ thống TMD đòi hỏi chi phí đầu tư lớn, đòi hỏi cân nhắc kỹ lưỡng về tài chính.

- Yêu cầu kỹ thuật cao: Cần có đội ngũ kỹ sư và công nhân có trình độ chuyên môn cao để thực hiện lắp đặt và bảo trì hệ thống.

8. Kết Luận

Công nghệ thi công hệ con lắc thẳng bằng (TMD) là một giải pháp tiên tiến và hiệu quả để đối phó với các thách thức về kết cấu trong các nhà cao tầng và siêu cao tầng. Với khả năng giảm thiểu rung động và tăng cường độ an toàn, TMD đóng vai trò quan trọng trong việc



Hình 8. Hệ thống giảm chấn Tòa nhà Shanghai Tower, Trung Quốc (<https://vi.wikipedia.org>)

bảo vệ kết cấu và cư dân trong các tòa nhà cao tầng. Các nghiên cứu và cải tiến liên tục trong lĩnh vực này hứa hẹn sẽ mang lại những bước tiến mới, giúp TMD tiếp tục được ứng dụng rộng rãi và nâng cao hiệu quả trong tương lai./

Tài liệu tham khảo

1. Tiêu chuẩn Việt Nam 9386-2012 (2012), "Thiết kế công trình chịu động đất", Tiêu chuẩn Quốc gia.
2. GS. TSKH Võ Như Cầu (2006), Tính kết cấu theo phương pháp động lực học, Nhà xuất bản xây dựng, Hà Nội.
3. Nguyễn Phùng Quang (2004), Matlab/Simulink dành cho kỹ sư điều khiển tự động.
4. E. Sivaraman and S. Arulselvi, "Modeling of an inverted pendulum based on fuzzy clustering techniques, Expert Systems with Applications," Expert Systems with Applications, vol. 38, pp. 13942-13949, 2011.
5. M. Magdy, A. E. Marhomy, and M. A. Attia. "Modeling of inverted pendulum system with gravitational search algorithm optimized controller," Ain Shams Engineering Journal, vol. 10, pp. 129-149, 2019.
6. V. Kumar E and J. Jeromem, "Robust LQR Controller Design for Stabilizing and Trajectory Tracking of Inverted Pendulum", Procedia Engineering, vol. 64, pp. 169 - 178, 2013
7. A. Kharola, P. Patil, S. Raiwani, and D. Rajput. "A comparison study for control and stabilisation of inverted pendulum on inclined sunace (1715) using PID and fuzzy controllers." Perspecnves i Science, vol pp. 157-190, 2016
8. Ye-Wei Zhang, Mu-Qing Niu, Li-Qun Chen. "Dynamics Analysis of a Variable Stiffness Tuned Mass Damper Enhanced by an Inerter." Applied Sciences. 2023.
9. "Control performance of active tuned mass damper for mitigating wind-induced vibration in skyscrapers."
10. "Optimal design theories and applications of tuned mass dampers."
11. "Passive Control via Mass Dampers: A Review of State-Of-The-Art." Springer.