

Xác định thành phần động tải gió lên kết cấu nhà nhiều tầng theo phân tích động lực học và TCVN 2737:2020

Determination of the dynamical component of wind loads on multi-storey building structures using dynamic analysis and TCVN 2737:2020

> **KS PHẠM MINH QUANG^{1*}, TS BÙI VĂN HỒNG LĨNH²**

¹ HVCH Trường Đại học Mở TP.HCM

*Email: pamin255@gmail.com

²Khoa Xây dựng, Trường Đại học Mở TP.HCM.

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu định lượng thành phần động của tải trọng gió tác dụng lên kết cấu nhà nhiều tầng bằng phân tích động lực học và so sánh với cách tính từ TCVN 2737:2020. Tải trọng gió được giả thiết là biến thiên theo thời gian với các dạng xung khác nhau và thời gian tác dụng khác nhau trong phân tích động lực học. Kết cấu được chọn là mô hình của tòa nhà 30 tầng được rời rạc hóa bằng phương pháp phần tử hữu hạn trong phân tích tĩnh và động bởi phần mềm SAP2000. Kết quả cho thấy rằng, thành phần động phụ thuộc rất nhiều vào tỷ số của thời gian tác dụng của xung gió và chu kỳ dao động riêng của kết cấu và độ lớn của thành phần động này cũng tương đối xấp xỉ với cách xác định theo TCVN 2737:2020.

Từ khóa: Thành phần động của gió; kết cấu nhà nhiều tầng; phân tích động lực học; TCVN 2737:2020

ABSTRACT

The objective of this paper is to study quantitatively the dynamical component of wind loads acting on multi-storey building structures by dynamic analysis and to compare with the calculation from TCVN 2737:2020. The wind load are assumed to be time-varying with different impulsive loads and different durations of action in the dynamic analysis. The structures is a model of a 30-storey building which is discretized by finite element method in static and dynamic analysis by SAP2000 software. The results show that the dynamical component sensitively depends on the ratio of the duration of the impulsive wind and the natural period of the structure, and the magnitude of dynamical component is also approximately close to the determination method according to TCVN 2737:2020.

Từ khóa: Dynamical component of wind load, Multi storey building structure, Dynamic analysis, TCVN2737:2020

1. GIỚI THIỆU

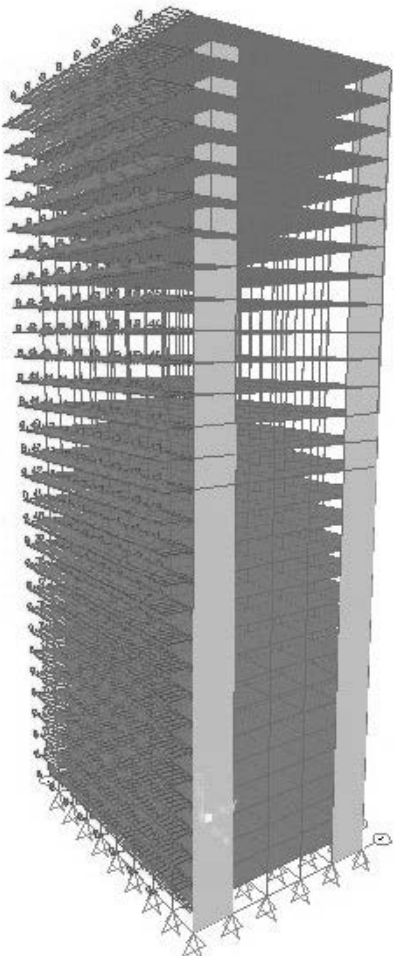
Với sự tiến bộ không ngừng của khoa học công nghệ, các công trình xây dựng trên thế giới nói chung và Việt Nam nói riêng đang phát triển với cấp tiến về chiều cao cũng như độ phức tạp. Sự phát triển mạnh mẽ của nền kinh tế quốc dân cũng như sự gia tăng dân số thành thị là động lực chủ yếu đẩy nhanh nhịp độ xây dựng công trình. Ở nước ta hiện các công trình cao (nhà nhiều tầng, thápăng ten thông tin, cột tải điện...) được xây dựng ngày càng nhiều. Đặc trưng chủ yếu của nhà nhiều tầng là số tầng nhiều, độ cao lớn, trọng lượng nặng, chịu tác động của tải trọng ngang lớn [5,6,7,10, 11]. Khi chiều cao của công trình càng tăng thì mức độ phức tạp khi tính toán thiết kế cũng gia tăng theo. Đặc biệt là việc xác định phản ứng của công trình trước tác động của tải trọng gió rất quan trọng. Những công trình chung cư, cao ốc... có số tầng xoay quanh 30 xuất hiện với mật độ ngày càng nhiều ở hầu hết các thành phố lớn của Việt Nam.

Tác dụng của gió lên công trình thay đổi theo cả không gian, thời gian và phụ thuộc vào khá nhiều thông số phức tạp liên quan đến môi trường và cả các đặc điểm của bản thân công trình [4, 8, 9]. Hiện nay chúng ta đang xác định tác dụng của tải trọng gió lên công trình nhà nhiều tầng theo Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 2737:1995 (2020) [1]. Theo quy định của tiêu chuẩn này thì tác dụng của gió lên công trình được tách thành hai thành phần: tĩnh và động. Trong đó thành phần tĩnh đã được xác định gần như chính xác theo tiêu chuẩn và các đặc trưng vị trí, cao độ. Việc tính toán thành phần động đã được đề cập đến trong Tiêu chuẩn Việt nam TCVN 2737 : 2020, và trong nhiều tài liệu khác nhau nhưng chưa được hướng dẫn thật cụ thể và đôi khi chưa có đánh giá về định lượng.

Theo TCVN thể hiện rất rõ những công thức tính toán tải gió nên rất thuận lợi cho quá trình tính toán tải trọng gió của các kỹ sư thiết kế. Tuy nhiên trong tính toán theo các TCVN để xác định tải

trọng gió ngoài những yếu tố như địa hình, chiều cao, hình dạng công trình... thì thành phần động của tải gió còn kể đến các thành phần như tần số dao động, chu kỳ, hệ số động, các dạng dao động... [2, 3, 4]. Như đã nêu, các yếu tố này đều có ảnh hưởng đến việc xác định thành phần động của tải gió và được TCVN lựa chọn do xung vận tốc gió và lực quán tính ảnh hưởng đến kết cấu công trình với công thức cũng rõ ràng dựa vào tần số dao động cơ bản của công trình và tần số dao động riêng giới hạn theo quy định của TCVN (phụ thuộc vào vùng áp lực gió và độ giảm loga dao động của kết cấu) và các thành phần của tải gió đều biến thiên khi chiều cao công trình thay đổi. Tuy vậy, sự biến thiên của gió theo thời gian gần như chưa được quan tâm, sự biến thiên này thật sự có ảnh hưởng đến lực quán tính tác dụng vào kết cấu và thu hút được nhiều sự quan tâm của các nhà khoa học cả trong và ngoài nước [12, 13, 14, 16].

Qua những vấn đề nêu trên, có thể thấy việc phân tích ảnh hưởng của xung vận tốc gió và lực quán tính tác dụng lên kết cấu khung nhà nhiều tầng là chưa thật sự rõ ràng. Bản chất của bài toán là phân tích ứng xử động lực học của kết cấu khi chịu xung gió [15]. Vậy đây là cơ sở, là mục tiêu của nghiên cứu này muốn tìm hiểu nhằm giúp người làm thiết kế có cái nhìn sâu sắc hơn về thành phần động của tải gió từ việc phân tích động lực học với xung gió và tính theo phương pháp tính tương đương của TCVN 2737:2020 để so sánh độ lớn của thành phần động này. Mô hình kết cấu được lựa chọn là khung nhà 30 tầng như trên hình 1 và phần mềm SAP2000 được dùng để phân tích tĩnh và động lực học của kết cấu này chịu tải trọng gió.



Hình 1. Mô hình kết cấu khung không gian của nhà nhiều tầng và tải trọng gió

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Cơ sở lý thuyết của nghiên cứu này gồm có kết cấu, chịu tải trọng gió. Tải trọng gió được tính theo 02 phương pháp: phương pháp tĩnh tương đương, tức là lực ngang của gió bao gồm thành phần tĩnh và động tác dụng đồng thời lên kết cấu và phương pháp phân tích động lực học, lúc này tải gió với độ lớn đã xác định và tác dụng động theo thời gian dưới dạng xung.

2.1 Phương pháp tính tương đương

Mô hình kết cấu là khung không gian của tòa nhà cao 30 tầng được thể hiện trên hình 1, với tải trọng gió theo TCVN 2737:2020. Giá trị tiêu chuẩn thành phần tĩnh của tải trọng gió W có độ cao Z so với mốc chuẩn được tính thông qua giá trị W_0 , hệ số khí động và hệ số thay đổi theo chiều cao, được tính bằng công thức trong mục 8.2 TCVN 2737:2020 như sau

$$W = 1,2 \times (W_0 \times k \times c) \times (G_f \times I_w)$$

Trong đó: Giá trị áp lực gió W_0 lấy theo bảng 3 TCVN 2737:2020, phân vùng áp lực gió theo địa danh hành chính cho trong phụ lục D TCVN 2737:2020, của hệ số k kể đến sự thay đổi áp lực gió theo độ cao z so với mốc chuẩn và dạng địa hình, xác định theo bảng 4 TCVN 2737:2020, c là hệ số khí động, B là bề rộng đón gió của công trình, H là chiều cao của công trình, γ là hệ số tin cậy của tải trọng gió.

Thành phần động của tải trọng gió cũng theo TCVN 2737:2020 (229:1999) được tính toán như sau:

Giá trị áp lực gió động tính toán theo TCXD 229:1999

$$W_{P(ji)} = \gamma \times M_j \times \xi_i \times \psi_i \times y_{ji}$$

trong đó M_j là khối lượng tập trung phần công trình thứ j , ξ_i là hệ số động lực ứng với dạng dao động thứ i , y_{ji} là dịch chuyển ngang tỉ đối của trọng tâm phần công trình thứ j ứng với dạng dao động thứ i , ψ_i là hệ số được xác định bằng cách chia công trình thành n phần, trong mỗi phần tải trọng gió có thể coi như không đổi, γ là hệ số tin cậy.

Cả thành phần tĩnh và động của tải gió tác dụng lên kết cấu và gây ra nội lực và chuyển vị trên hệ. Do hệ kết cấu có ứng xử tuyến tính nên kết quả nội lực và chuyển vị của hệ cho thông tin về độ lớn của hệ số động lực do thành phần động.

2.2 Phương pháp phân tích động lực học

Xem kết cấu như hệ nhiều bậc tự do chịu tác dụng của tải trọng gió thay đổi theo thời gian. Phương trình vi phân chủ đạo tính toán động lực học cho khung nhà nhiều tầng chịu tải trọng động như sau

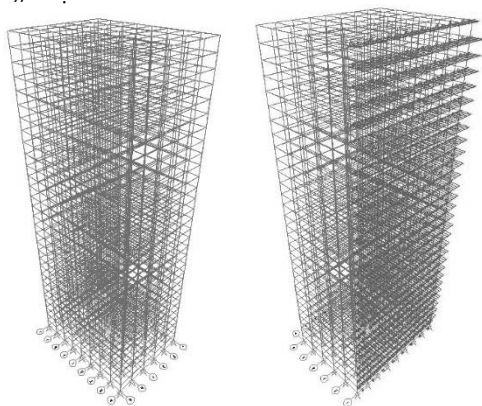
$$\ddot{\mathbf{M}}\mathbf{u} + \dot{\mathbf{C}}\mathbf{u} + \mathbf{K}\mathbf{u} = \mathbf{P}_t$$

Trong đó: $\mathbf{M}$ là ma trận khối lượng tổng thể, $\mathbf{C}$ là ma trận lực cản, $\mathbf{K}$ là ma trận độ cứng của kết cấu, các vector $\ddot{\mathbf{u}}$, $\dot{\mathbf{u}}$ và $\mathbf{u}$ phụ thuộc thời gian, đó là các vector chuyển vị, vận tốc, gia tốc của kết cấu và $\mathbf{P}_t$ là vectơ lực tổng thể gây ra. Đây là lý thuyết tổng quát, thực tế khi kết cấu phức tạp về số lượng phần tử thì việc thiết lập phương trình chuyển động này thường rất công phu và khó khăn. Tuy nhiên, công cụ SAP2000 được thiết lập để dùng giải quyết bài toán này và đây là phần mềm thương mại có độ tin cậy nhất định với kết cấu thực.

Nghiên cứu này dùng phương pháp số của Newmark để giải bài toán trên. Phương pháp Newmark giải quyết bài toán Động lực học là từ giá trị của nghiệm đã biết tại thời điểm i suy ra giá trị của thời điểm tại $i+1$ bằng sự biến thiên tuyến tính của gia tốc trong từng bước thời gian. Phương trình vận tốc và chuyển vị u_{i+1} tại thời điểm $i+1$.

3. KẾT QUẢ SỐ

Hệ kết cấu được lựa chọn với các thông số đặc trưng như sau: Số tầng của kết cấu là 30 tầng, Kết cấu cột 600x800 (mm) và dầm 400x600 (mm) cấu tạo bằng vật liệu bê tông cốt thép, chiều cao tầng 3.6 (m), Chiều dài 8 nhịp khung, khoảng cách khung là 5 (m), Chiều rộng 5 nhịp khung, khoảng cách khung là 6 (m) có tần số $f = 0,3708$ (1/s), được vẽ như trên Hình 2.



Hình 2. Kết cấu khung phẳng 30 tầng có gán tải trọng gió tính (TCVN) theo phương Y (chiều dài)

Khi gán tải trọng gió bởi thành phần tĩnh và động theo TCVN 2737:2020 lên kết cấu, kết quả như sau:

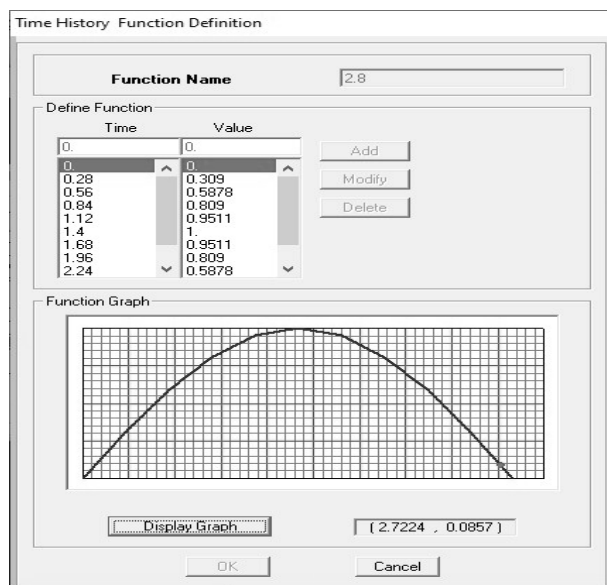
- Hệ số động = (chuyển vị do thành phần tĩnh + chuyển vị thành phần động)/chuyển vị do thành phần tĩnh

- Hệ số động = $(0,0436 + 0,023)/0,0436 = 1,527$.

Khi phân tích động lực học, tải trọng gió được mô hình dưới 03 dạng xung: xung nửa hình sin (hình 3), xung hình tam giác (hình 5) và xung hai nửa hình sin với biên độ khác nhau (hình 7). Tải trọng tác dụng theo phương Y của kết cấu, chuyển vị quan tâm là Uy. Các kết quả về hệ số động được trình bày sơ lược như sau.

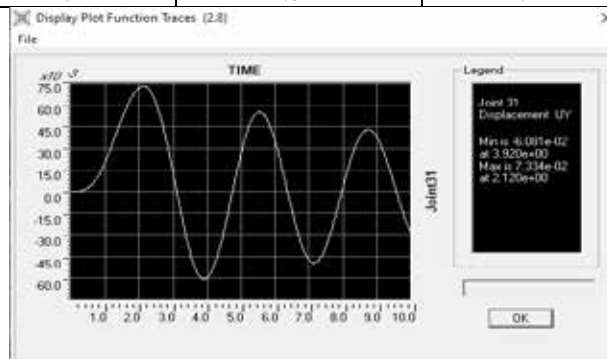
- Xung nửa hình sin với thời gian tác dụng khác nhau như trên hình 3: kết quả tính toán từ 22 bài toán từ phần mềm SAP2000 cho chuyển vị lớn nhất Uy như trong bảng và hệ số động lớn nhất là 1,681, ứng với chuyển vị theo thời gian như trên hình 4.

Thời gian T (s)	Chuyển vị Uy (cm)	Hệ số động Kđ
0	0	0.000
0.3	1.58	0.362
0.5	2.58	0.592
0.9	4.33	0.993
1.2	5.38	1.234
1.5	6.197	1.421
1.6	6.41	1.470
1.8	6.76	1.550
2	7.006	1.607
2.2	7.175	1.646
2.4	7.27	1.667
2.6	7.327	1.681
2.8	7.33	1.681
3	7.306	1.676
3.2	7.253	1.664
4	6.875	1.577
5	6.27	1.438
6	5.67	1.300
7	5.148	1.181
8	4.69	1.076
9	4.752	1.090



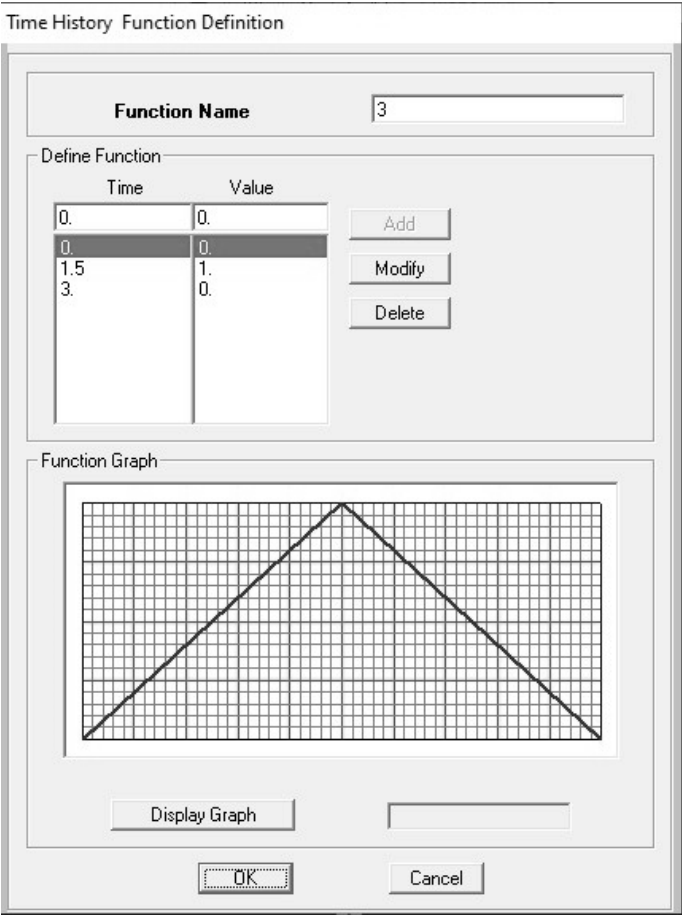
Hình 3. Xung đơn nửa hình sin

Thời gian T (s)	Chuyển vị Uy (cm)	Hệ số động Kđ
0	0	0.000
0.3	1.257	0.288
0.5	2.052	0.471
0.9	3.474	0.797
1.2	4.356	0.999
1.5	5.065	1.162
1.6	5.261	1.207
1.8	5.594	1.283
2	5.855	1.343
2.2	6.056	1.389
2.4	6.203	1.423
2.6	6.304	1.446
2.8	6.364	1.460
3	6.387	1.465
3.2	6.38	1.463
4	6.105	1.400
5	5.463	1.253
6	4.758	1.091
7	4.276	0.981
8	4.51	1.034
9	4.847	1.112

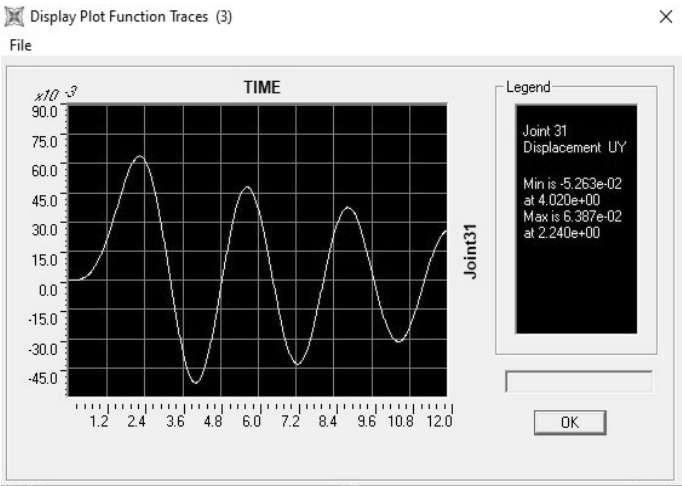


Hình 4. Biểu đồ chuyển vị tại tầng 30, T = 2.8 (s)

- Xung tam giác với thời gian tác dụng khác nhau như trên hình 5: kết quả tính toán cũng từ 22 bài toán từ phần mềm SAP2000 cho chuyển vị lớn nhất Uy như trong bảng và hệ số động lớn nhất là 1,463, ứng với chuyển vị theo thời gian như trên hình 6. Xét các thời gian tác dụng của tải xung hình tam giác được kết quả chuyển vị Uy như bảng dưới và hình 5.



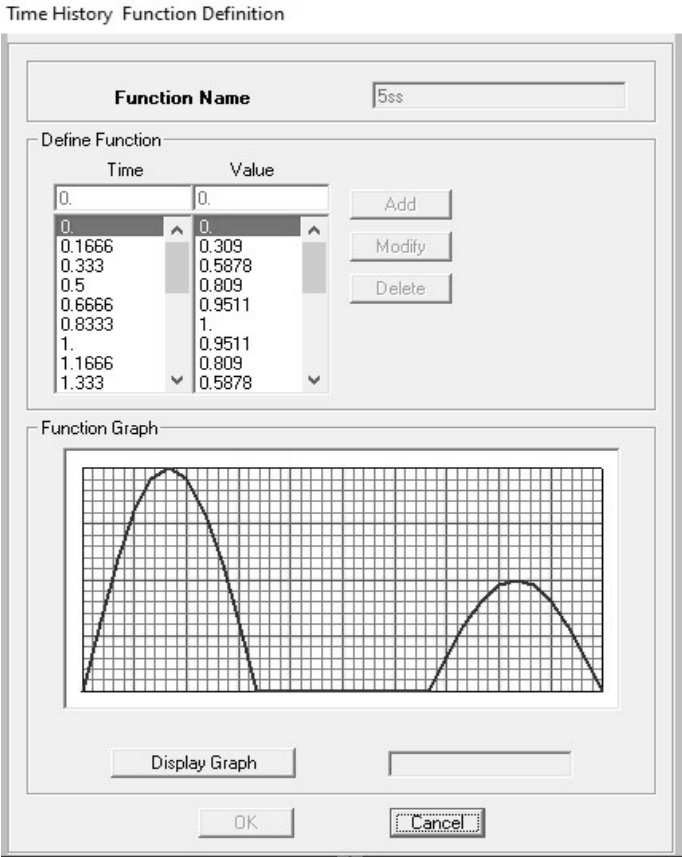
Hình 5. Xung đơn hình tam giác tại thời T = 3 (s)



Hình 6. Biểu đồ chuyển vị tại tầng 30, T = 2.8 (s)

- Hai xung nửa hình sin với biên độ khác nhau tác dụng như trên hình 7: kết quả tính toán cũng từ 22 bài toán từ phần mềm

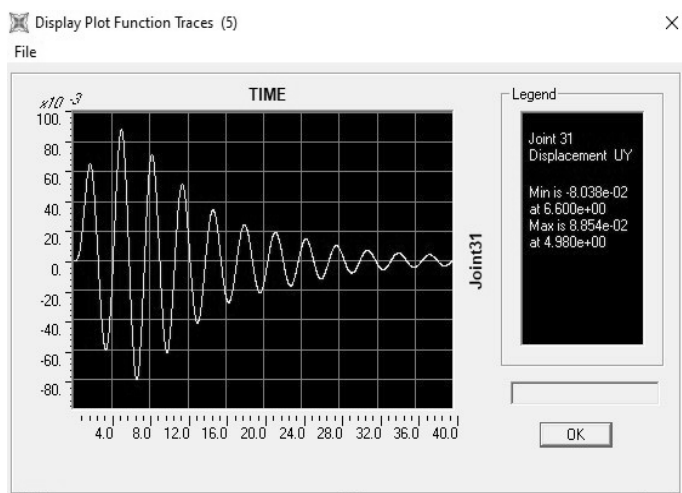
SAP2000 cho chuyển vị lớn nhất Uy như trong bảng và hệ số động lớn nhất là 2,03, ứng với chuyển vị theo thời gian như trên hình 8.



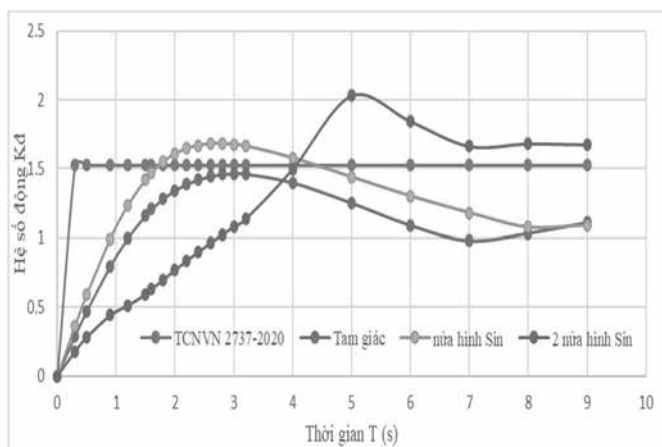
Hình 7. Xung đơn hình tam giác tại thời T = 5 (s)

Thời gian T (s)	Chuyển vị Uy (cm)	Hệ số động Kđ
0	0	0,000
0,3	0,778	0,178
0,5	1,23	0,282
0,9	1,92	0,440
1,2	2,23	0,511
1,5	2,58	0,592
1,6	2,74	0,628
1,8	3,05	0,700
2	3,35	0,768
2,2	3,65	0,837
2,4	3,93	0,901
2,6	4,2	0,963
2,8	4,46	1,023
3	4,71	1,080
3,2	4,95	1,135
4	6,534	1,499
5	8,85	2,030
6	8,04	1,844
7	7,25	1,663
8	7,33	1,681
9	7,3	1,674

Từ kết quả của bài toán phân tích tĩnh tương đương (theo TCVN 2737:2020) và phân tích động lực học của tải trọng gió dưới 03 dạng xung khác nhau, hình 9 thể hiện giá trị hệ số động tương ứng. Kết quả cho thấy xung nửa hình sin hay tam giác không có sự thay đổi nhiều so với phân tích tĩnh, tuy nhiên kết quả có thể tăng lên 33% (hệ số động là 2,03 so với 1,53) nếu xung hai nửa hình sin tác dụng.



Hình 8. Biểu đồ chuyển vị tại tầng 30, $T = 5$ (s)



Hình 9. Biểu đồ so sánh Hệ số động

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã xác định định lượng của thành phần động tải trọng gió lên kết cấu khung nhà 30 tầng với mô hình tải trọng xung gió và so sánh với cách tính theo TCVN 2737:2020, một số trao đổi được sơ lược:

- Qua kết quả của chuyển vị động lớn nhất từ bài toán phân tích động lực học, có thể ước lượng được hệ số động và thành phần động của tải trọng gió. Thành phần này phụ thuộc rất nhạy vào thời gian tác dụng của xung gió và dạng của xung.
- Độ lớn của thành phần động của gió được xác định theo phân tích động là tương đương với xác định theo TCVN 2737:2020 nếu xem xung gió là dạng đơn hình sin hoặc hình tam giác.
- Ngoài ra, nếu xung gió dạng xung đôi với các tình huống khác nhau có thể gây ra thành phần động lớn hơn nếu so với cách tính theo TCVN 2737:2020, sự sai khác này có thể lên đến gần 33%, hệ số động là 2,03 so với 1,53. Kết quả này cho thấy

có thể kết cấu sẽ nguy hiểm hơn nếu gió tác dụng theo quy luật này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Tiêu chuẩn quốc gia TCVN, Tải trọng và tác động, tiêu chuẩn thiết kế TCVN 2737-2020, Hà Nội, 2020.
2. Nguyễn Trọng Phước, Đỗ Kiến Quốc, Phân tích động lực nhà cao tầng chịu tác dụng tải trọng gió, Tuyển tập các công trình khoa học Hội nghị Khoa học và Công nghệ lần thứ 7, Đại học Bách khoa TP.HCM, 1999.
3. Nguyễn Anh Dũng, Phương pháp xác định chu kỳ dao động riêng của nhà nhiều tầng, Tạp chí khoa học & công nghệ nông nghiệp, Tập 3(2) - 2019.
4. Nguyễn Đại Minh, Phương pháp hệ số gió giật G và tải trọng gió tác dụng lên nhà cao tầng, Hội thảo Hội Kết cấu xây dựng, Hà Nội 9-2011.
5. Mahdi Hosseini, N.V. Ramana Rao, Study the Impact of the Drift (Lateral Deflection) of the Tall Buildings Due to Seismic Load in Concrete Frame Structures with Different Type of RC Shear Walls, 2018.
6. Ahmet Tuken, Yassir M. Abbas, Dynamic Response of a MDOF System subjected to Harmonic and Impulsive Loadings and Free Vibration: An Analytical Approach, © MAT Journals 2018.
7. Bilal Ahmad Lone, Jagdish Chand, Comparative Study on Seismic and Wind Performance of Multi-Storeyed Building with Plan and Vertical Irregularities - A Review, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 12-2019.
8. K Bala Venkata Sai, M Pavan Kumar, N Madhu Veena, D Muthu, G.Nandhini, Wind Load Analysis on a Multistoreyed Building Curved in Plan, International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE), 3-1-2021.
9. K. Jagan Moan Reddy, HabtamuMelesse Dicha, Analysis of Multi-Storey Building Considering Wind Effects, Erudite Journal of Engineering Technology and Management Sciences, 1-2021.
10. Priyan Mendis, Tuan Duc Ngo, N. Haritos, Anil Hira, Bijan Samali, John Cheung, Wind loading on tall buildings, Electronic Journal of Structural Engineering, 1-2007.
11. P. Shiva Kumar, T. Divakar, K. Srinivasa Rao, M. Chandra kanth Response, Study of a Building with Different Elevations Under Earthquake and Wind Loads, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 5-2016.
12. Shaikh Muffassir, L.G. Kalurkar, Study of wind analysis of multi-story composite structure for plan irregularity, International Journal of andvanced Technology in Engineering and Science, 9-2016.
13. Nicola Longarini, Luigi Cabras, Marco Zucca, Suvash Chapain, and Aly Mousaad Aly, Research Article Structural Improvements for Tall Buildings under Wind Loads: Comparative Study, Hindawi - Shock and Vibration, 4-2017.
14. Shu-Xun Chen, A more precise computation of along wind dynamic response analysis for tall buildings built in urban areas, Published Online April 2010.
15. B.T. Ewing, J.B. Kruse, J.L. Schroeder, Time series analysis of wind speed with time-varying turbulence, Published online 1 Sep/ 2005 in Wiley InterScience, DOI:10.1002/env.754.
16. Lorenzo Rosa, Gisella Tomasini, Alberto Zasso and M. Aly, Evaluation of wind-induced dynamics of high-rise buildings by means of modal approach, The 2012 World Congress on Advances in Civil, Environmental, and Materials Research (ACEM'12) Seoul, Korea, August 26-30, 2012.