

XÁC ĐỊNH LỰC KHÍ ĐỘNG TÁC ĐỘNG LÊN VỎ XE KHÁCH CỖ LỚN BẰNG PHƯƠNG PHÁP MÔ PHỎNG SỐ

DETERMINATION OF AERODYNAMIC FORCES ACTING ON A GRAND BUS BY NUMERICAL SIMULATION

Nguyễn Tiến Dũng, Hà Văn Hiếu, Vũ Văn Nghĩa, Dư Tuấn Đạt

Trường Cơ khí, Đại học Bách khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Khi một chiếc xe buýt lớn di chuyển trên đường, do đặc điểm của nó là có kích thước lớn, các lực và mômen khí động học tác động lên thân xe có thể là nguyên nhân gây ra sự mất ổn định và tai nạn. Vì vậy, việc nghiên cứu xác định các lực và mô men khí động làm cơ sở cho bài toán đánh giá sự mất ổn định của xe buýt là vấn đề cần quan tâm. Bài báo này tập trung nghiên cứu xác định các lực và mô men khí động tác động lên xe bus lớn trong điều kiện gió ngang tĩnh. Các hệ số lực và mô men khí động được xác định bằng phương pháp mô phỏng số. Kết quả nghiên cứu có thể được sử dụng làm cơ sở cho bài toán đánh giá sự mất ổn định của xe bus lớn khi chuyển động trên đường có gió ngang.

Từ khóa: Xe khách cỡ lớn; Mô phỏng số; Lực khí động; Mô men khí động.

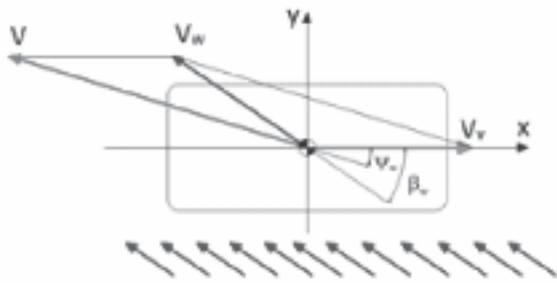
ABSTRACT

When a grand bus is traveling on the road, due to its large size, the aerodynamic forces and moments acting on the body of the bus can be the cause of instability and accidents. Therefore, the study of determining aerodynamic forces and moments as the basis for the problem of bus instability assessment is a matter of concern. This paper focuses on determining the aerodynamic forces and moments acting on the grand bus in the condition of static crosswind. The aerodynamic force and moment coefficients are determined by numerical simulation method. The research results can be used as the basis for the problem of assessing the instability of the grand bus when moving on the road in crosswind condition.

Keywords: Grand bus; Numerical simulation; Aerodynamic forces; Aerodynamic moments. 

1. CÁC LỰC VÀ MÔ MEN KHÍ ĐỘNG

Trong thực tế, khi một ô tô chuyển động với vận tốc tuyệt đối V_v trong điều kiện có gió ngang với vận tốc V_w nghiêng với mặt phẳng dọc xe một góc β_w . Tác động của gió ngang trong trường hợp này giống với một gió tương đương tác động lên xe không chuyển động. Gió tương đương này có vận tốc V và tạo một góc nghiêng ψ_w với trục dọc x của xe (hình 1, [1, 2, 3]).



Hình 1. Vận tốc gió tương đương khi xe chuyển động trong điều kiện gió ngang

Theo quan hệ hình học trên hình 1, ta có:

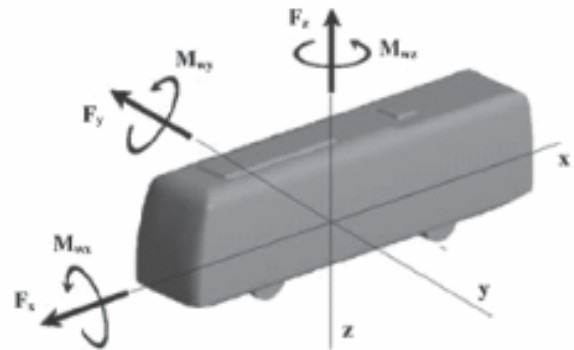
$$V^2 = (V_v + V_w \cos \beta_w)^2 + V_w^2 \sin^2 \beta_w \quad (1)$$

$$\psi_w = \arctan \frac{V_w \sin \beta_w}{V_v + V_w \cos \beta_w} \quad (2)$$

Dưới tác động của gió tương đương, các lực, mô men khí động tác động lên trọng tâm xe buýt khi đó bao gồm: Lực cản chính diện F_{wx} , lực bên F_{wy} , lực nâng khí động F_{wz} , mô men lắc ngang M_{wx} , mô men lắc dọc M_{wy} , mô men xoay thân xe M_{wz} (hình 2). Các lực, mô men khí động tác động được tính như sau:

$$\begin{aligned} F_{wx} &= C_x A \frac{\rho V^2}{2}; F_{wy} = C_y A \frac{\rho V^2}{2}; \\ F_{wz} &= C_z A \frac{\rho V^2}{2}; M_{wx} = C_{Mx} Ah \frac{\rho V^2}{2} \\ M_{wy} &= C_{My} Ah \frac{\rho V^2}{2}; M_{wz} = C_{Mz} Ah \frac{\rho V^2}{2} \end{aligned} \quad (3)$$

Trong đó, $C_x, C_y, C_z, C_{Mx}, C_{My}, C_{Mz}$ là hệ số lực, mô men khí động tương ứng với các trục tọa độ. A là diện tích cản chính diện, h là chiều cao trọng tâm, ρ là mật độ không khí. Các lực và mô men khí động có thể được xác định bằng phương pháp mô phỏng khí động (CFD - Computational Fluid Dynamics) sử dụng các phần mềm chuyên dụng.

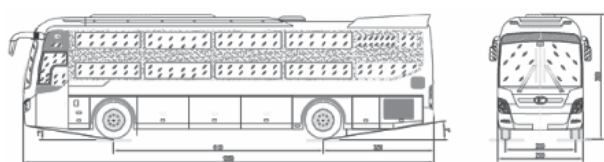


Hình 2. Các lực và mô men khí động tác động lên thân xe buýt

2. MÔ HÌNH XÁC ĐỊNH CÁC LỰC VÀ MÔ MEN KHÍ ĐỘNG

2.1. Xây dựng mô hình hình học

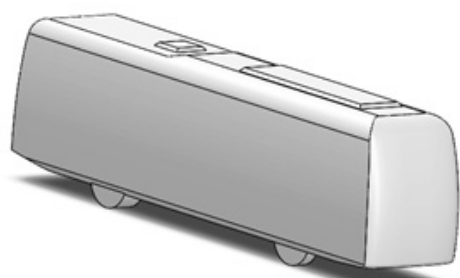
Trong đề tài này đã lựa chọn xe buýt THACO HB120SL-H380R-14 sản xuất và lắp ráp tại Việt Nam làm đối tượng nghiên cứu. Hình 3 thể hiện các thông số kích thước tính toán thiết kế sử dụng trong nghiên cứu với các kích thước bao cơ bản $L \times W \times H$ là 12050x2500x3500 mm.



Hình 3. Thông số kích thước của xe buýt THACO HB120SL-H380R-14

Trong tính toán mô phỏng số khí động học ô tô (CFD), cần thực hiện xây dựng mô hình tính toán mô phỏng. Mô hình xe buýt được mô phỏng trong không gian 3 chiều (3D) thông qua sử dụng phần mềm Solidworks 2016 (hình 4, [4]).

Khi thực hiện mô phỏng, để phù hợp với khả năng tính toán của máy tính nhưng vẫn đảm bảo được tính đúng đắn và độ tin cậy, bài toán mô phỏng khí động xe khách sử dụng một số giả thiết: Mô hình vỏ xe là tuyệt đối cứng, không xảy ra sự biến dạng của vỏ xe trong suốt quá trình mô phỏng; Bỏ qua quá trình trao đổi nhiệt giữa vỏ xe và không khí; Bề mặt vỏ xe là bề mặt nhẵn (không xét đến các chi tiết phụ như gương, gạt mưa, tay nắm cửa,...).

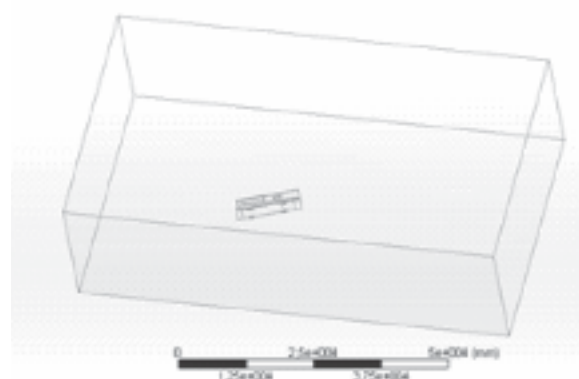


Hình 4. Mô hình 3D của xe buýt tham khảo

2.2. Vùng không gian mô phỏng

Vùng không gian mô phỏng là vùng không gian bao quanh vật thể, được giới hạn trong quá trình mô phỏng. Trong tự nhiên, không khí chuyển động quanh vật thể đứng yên hoặc vật thể chuyển động và do đó vùng

không gian quanh vật thể sẽ có giới hạn ở vô cùng (hay nói cách khác là không có giới hạn). Tuy nhiên, khi mô phỏng trên máy tính, việc lựa chọn các kích thước của vùng không gian này được thực hiện sao cho bài toán mô phỏng sát với điều kiện vận hành thực tế, nhằm đạt được kết quả có độ chính xác và độ tin cậy cao, đồng thời khối lượng tính toán phù hợp (yêu cầu về dung lượng bộ nhớ, cấu hình máy tính, thời gian tính toán,...).



Hình 5. Vùng không gian mô phỏng khí động của xe khách trong Ansys

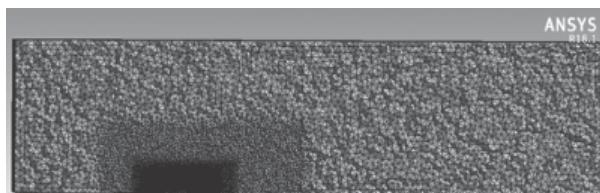
Trong nghiên cứu này, sử dụng vùng không gian mô phỏng có dạng hình hộp chữ nhật. Với các tính toán khí động học yêu cầu độ chính xác không quá cao với thời gian tính toán chấp nhận được thì kích thước vùng không gian được lựa chọn là 30.000mm x 20.000mm x 10.000mm.

2.3. Chia lưới

Chia lưới thực chất là việc rời rạc hóa vùng không gian mô phỏng thành các phần tử để thực hiện việc tính toán gần đúng bằng phương pháp số (trong Ansys Fluent là phương pháp thể tích hữu hạn). Việc chọn kiểu lưới, số lượng phần tử, kích thước lưới, mật độ lưới phụ thuộc vào các yếu tố sau: Tính chất của bài toán mô phỏng, độ chính xác cần thiết của kết quả

mô phỏng, cấu hình máy tính hiện có và thời gian để thực hiện mô phỏng bài toán.

Do vậy, khu vực nào mà việc chia lưới ảnh hưởng mạnh đến kết quả mô phỏng thì lưới phải được chia dày, mịn, đảm bảo kích thước và tỉ lệ phát triển lưới thích hợp. Còn ở các khu vực mà chất lượng lưới có ảnh hưởng không nhiều tới kết quả mô phỏng thì có thể chia lưới thưa hơn, thậm chí là lưới thô. Trong mô hình tính toán các hệ số lực và mô men khí động, không gian chia lưới trong mô phỏng được chia thành 3 khu vực riêng biệt, vùng không gian gần xe nhất có dạng hình hộp chữ nhật với kích thước: Dài x rộng x cao = 15.000mm x 6.000mm x 4.500mm; vùng thứ hai cũng có dạng hình hộp có kích thước: dài x rộng x cao = 30.000mm x 16.000 mm x 10.000mm và vùng thứ 3 là vùng còn lại. Vì biên dạng vỏ xe buýt cỡ lớn rất phức tạp, do đó, vùng 1 được chia lưới rất mịn, vùng 2 được chia tương đối mịn còn vùng 3 được chia thô. Kết quả sau khi chia lưới, mô hình có 558293 nút, 2354550 phần tử lưới (hình 6).



Hình 6. Vùng không gian tính toán trong Ansys Fluent

Với mô hình 3D hiện nay, các dạng phần tử cơ bản đang được sử dụng để hình thành nên lưới là phần tử tứ diện (tetrahedral), phần tử dạng lăng trụ (prisms), phần tử dạng kim tự tháp (pyramids), phần tử dạng lục diện (hexahedral) và phần tử đa diện. Do bề mặt vỏ xe buýt cỡ lớn là phức tạp (có nhiều bề mặt nhỏ với độ cong khác nhau) nên bài báo sử dụng lưới tứ diện để đảm bảo khả năng đáp ứng với

các mô hình có cấu trúc phức tạp [6]. Quá trình chia lưới và chất lượng lưới đã đảm bảo được các chỉ tiêu đánh giá sự hội tụ và độ chính xác của kết quả theo các tiêu chí đánh giá của phần mềm Ansys Fluent.

2.4. Lựa chọn mô hình dòng rối

Trong nghiên cứu khí động học ô tô, để mô tả dòng chảy không khí bao quanh vỏ xe, các nhà nghiên cứu sử dụng phương trình Navier – Stokes. Với vận tốc dòng khí không lớn (hệ số $m < 0,3$) nên có thể coi dòng khí chảy xung quanh vỏ xe ô tô là dòng không nén và được mô tả dưới dạng hệ phương trình vi phân đạo hàm riêng. Tuy nhiên, trong thực tế, dòng chảy không khí bao quanh vỏ xe ô tô là dòng rối. Để giải quyết các vấn đề phức tạp đó, trong phần mềm Ansys Fluent sử dụng mô hình gần đúng để mô tả các dòng rối bao gồm các mô hình: K-EPSILON, K-OMEGA, TRANSITION K-KL-OMEGA, TRANSITION SST. Qua thử nghiệm cho thấy, mô hình dòng rối K-EPSILON có kết quả phù hợp nhất [5].

2.5. Thiết lập thuật giải, đặt điều kiện biên

Trong Ansys Fluent có hai loại bộ giải: Pressure - based và density - based. Bộ giải density - based thường sử dụng cho dòng chảy có số Mach lớn ($m > 3$). Vì vậy, trong mô phỏng này sử dụng bộ giải Pressure - based (sử dụng cho dòng chảy có số Mach $m < 3$). Trong mô phỏng này, sử dụng sai số để kiểm soát hội tụ là 10^{-4} , khi đó, kết quả sẽ hội tụ sau khoảng 1.400 vòng lặp. Để có thể chạy mô phỏng bài toán khí động cần các điều kiện biên (hay các thông số ban đầu) cho bài toán. Các điều kiện biên của bài toán cũng được thể hiện trong bảng 1.

Bảng 1. Thiết lập thuật giải trong Ansys [5, 6]:

Simulation	3d
Processing option	Serial
Pressure – velocity coupling	
Scheme	Coupled
Time	Steady
Solver	
Gradient	Least squares cell based
Pressure	Standard
Mô mentum	First order upwind
Turbulent kinetic energy	First order upwind
Turbulent dissipation rate	First order upwind
Iteration	First order upwind for 10000 iterations
Explicit relaxation factors	
Pressure	0.25
Mô mentum	0.25
Under – relaxation factors	
Turbulent kinetic energy	0.8
Turbulent dissipation rate	0.8
Turbulent viscosity	0.8
Monitors	
Residual, statistic and force monitors	Residual, drag, lift

3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

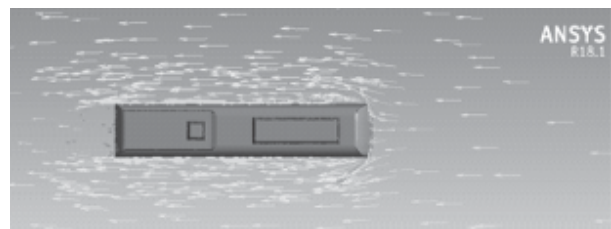
3.1. Vận tốc và áp suất dòng khí



Hình 7. Phổ vận tốc tại mặt phẳng nằm ngang cách mặt đường 2m

Vận tốc và áp suất dòng khí là một trong những kết quả mô phỏng với mỗi tính toán khảo sát ở một trường hợp gió tĩnh. Kết

quả về phổ vận tốc dòng khí có thể được thể hiện trên toàn bộ không gian nghiên cứu, hoặc thể hiện trên các mặt cắt đặc trưng.



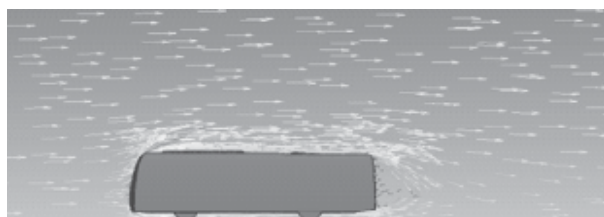
Hình 8. Véc tơ vận tốc tại mặt phẳng nằm ngang cách mặt đường 2m

Hình 7, mô tả phổ vận tốc dòng khí tại mặt phẳng nằm ngang cách mặt đường 2m. Do xe đi thẳng, nên phổ vận tốc tại mặt phẳng nằm ngang gần như đối xứng (hình 7). Tại phía đuôi

xe xuất hiện vùng rối (vùng màu xanh nước biển), số lượng vecto vận tốc ít (hình 8), vùng rối này là nguyên nhân chính gây lực cản khi ô tô chuyển động. Muốn giảm lực cản trên xe, về mặt thiết kế phải giảm không gian của vùng chân không này.



Hình 9. Phổ vận tốc tại mặt phẳng dọc chính giữa xe



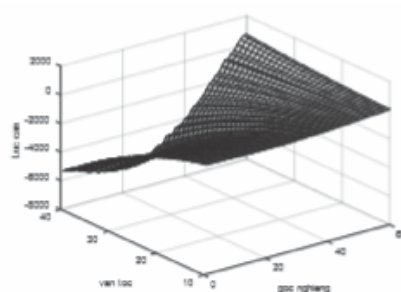
Hình 10. Vecto vận tốc tại mặt phẳng dọc chính giữa xe

Hình 9, mô tả phổ vận tốc dòng khí tại mặt phẳng dọc chính giữa xe (mặt phẳng xOz). Vùng không gian chảy rối có màu xanh da trời ở phía đuôi xe (hình 17), trong đó, xuất hiện nhiều véc tơ vận tốc có hướng chuyển động ngược với hướng chuyển động của xe (hình 10). Cũng như phân tích ở trên, vùng không gian chảy rối này là nguyên nhân gây ra lực cản chuyển động của xe. Tại phía gầm xe, độ dài của vecto vận tốc ngắn, tức là vận tốc ở dưới gầm xe thấp, vận tốc phía trên nóc xe có độ dài lớn, tức là vận tốc ở số lớn hơn. Sự chênh lệch vận tốc dòng không khí phía gầm xe và trên nóc xe là nguyên nhân gây ra lực nâng thân xe (hoặc lực ép theo phương thẳng đứng lên ô tô).

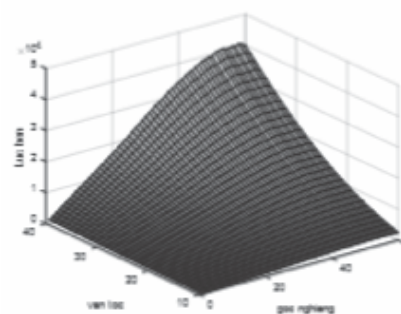
3.2. Lực và mô men khí động

Trong nghiên cứu này, các định lực, mô

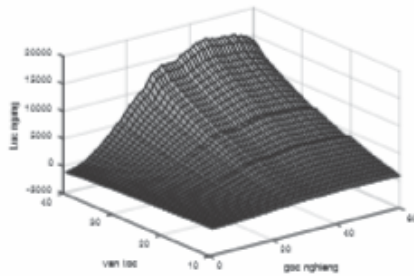
men tác động lên vỏ xe buýt được xác định tại gốc tọa độ đặt trùng với trọng tâm O của xe. Gió xiên tác động lên vỏ xe ở trạng thái tĩnh, nghĩa là xe đứng yên, một gió tương đương có vận tốc v (tính theo m/s) và có góc nghiêng với trục dọc của xe (tính theo độ) tác động lên vỏ. Giá trị vận tốc gió khảo sát từ 0 m/s đến 40 m/s (144 km/h). Giá trị góc nghiêng khảo sát là từ 0 độ (gió thẳng) đến 60 độ so với trục dọc. Với mỗi trường hợp của vận tốc gió và một góc nghiêng, mô hình mô phỏng khí động học của xe sẽ tính toán phân tích ra các thành phần lực và mô men khí động. Kết quả mỗi lần mô phỏng sẽ tính toán ra lực cản F_x (lực khí động dọc trục x), lực bên F_y (lực khí động dọc trục y), lực nâng F_z (lực khí động dọc trục z), mô men lắc ngang M_x (mô men khí động quanh trục x), mô men lắc dọc M_y (mô men khí động quanh trục y) và mô men xoay thân xe M_z (mô men khí động quanh trục z). Tổng hợp các lực khí động trong toàn miền khảo sát được thể hiện trên các hình 11 đến hình 16.



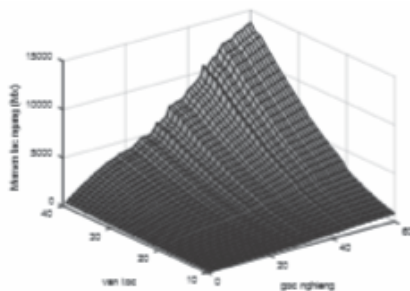
Hình 11. Lực cản theo vận tốc và góc nghiêng



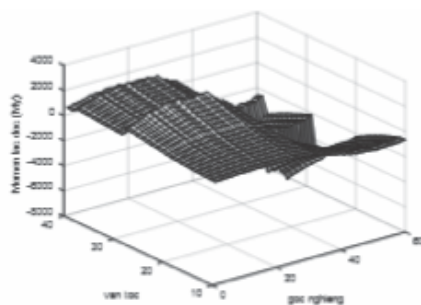
Hình 12. Lực bên theo góc nghiêng và vận tốc



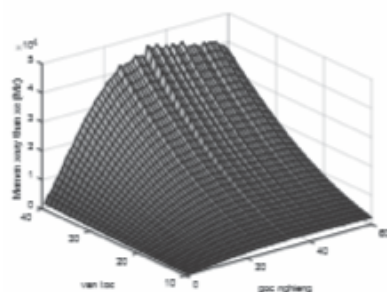
Hình 13. Lực ngang theo góc nghiêng và vận tốc



Hình 14. Mô men lắt ngang theo góc nghiêng và vận tốc



Hình 15. Mô men lắt dọc theo góc nghiêng và vận tốc



Hình 16. Mô men xoay thân xe theo góc nghiêng và vận tốc

3.3. Các hệ số khí động

Khi sử dụng các phần mềm chuyên dụng có thể tính toán trực tiếp các lực và mô men khí động trong mỗi trường hợp gió tương đương (trong công thức 3). Tuy nhiên, để sử dụng chúng cho các bài toán mô phỏng động lực học (ví dụ như bài toán ổn định chuyển động), việc xác định các hệ số khí động là có ý nghĩa hơn. Khi đó, tại mỗi trạng thái chuyển động của xe (tương ứng với tốc độ V_v và góc nghiêng thân xe với luồng gió ψ_w) sẽ xác định được gió tương đương (V, β_w) và như vậy, tính toán được các lực khí động một cách dễ dàng hơn thông qua các hệ số khí động được xác định bằng phương pháp nội suy. Đối với bài toán xác định các vận tốc có thể gây mất ổn định cho xe (ở cả trạng thái tĩnh và khi chuyển động, cần thiết phải xác định các hệ số của các lực, mô men khí động theo góc nghiêng ψ_w).

Việc xác định các hệ số khí động bằng mô hình mô phỏng được thực hiện khi sử dụng giả thiết xe đứng yên ($V_v = 0$), một luồng gió có vận tốc V_w và tạo một góc nghiêng β_w với trục dọc của xe. Như vậy, trong trường hợp này, vận tốc gió tương đương trong tính toán này $V = V_w$ và $\psi_w = \beta_w$. Các hệ số khí động tại các góc nghiêng ψ_w được tính toán theo phương pháp phần tử hữu hạn từ phần mềm chuyên dụng thể hiện trong Bảng 2.



Bảng 2. Hệ số khí động tại các góc nghiêng:

$\psi_w(^{\circ})$	Các hệ số khí động					
	C_x	C_y	C_z	C_{Mx}	C_{My}	C_{Mz}
0	0.51	0.00	-0.18	0.00	-0.12	0.00
10	0.65	0.97	0.13	0.04	0.03	0.28
20	0.69	1.91	0.77	0.06	0.03	0.53
30	0.61	2.93	1.37	0.08	0.02	0.64
40	0.44	3.88	1.67	0.12	-0.04	0.66
50	0.17	4.54	1.75	0.17	-0.09	0.61
60	-0.12	4.61	1.60	0.20	-0.08	0.55
70	-0.25	4.30	1.11	0.21	-0.05	0.32
80	-0.27	4.13	0.74	0.22	-0.05	0.04
90	-0.23	4.06	0.62	0.28	-0.07	-1.40

Như đã đề cập ở phần 1, trên thực tế, khi vận tốc chuyển động của xe, hoặc vận tốc V_w và góc nghiêng β_w của gió thay đổi sẽ làm thay đổi thông số của gió tương đương (vận tốc V và góc tác động ψ_w). Từ các kết quả tính toán rời rạc này, có thể xác định các hàm nội suy để tính toán các hệ số khí động làm thông số đầu vào của mô hình ổn định của xe.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày cơ sở lý thuyết và các bước xây dựng mô hình xác định lực khí động bằng phương pháp mô phỏng số sử dụng phần mềm chuyên dụng. Các lực và mô men khí động được phân tích trong các trường hợp thay đổi vận tốc chuyển động của xe và điều kiện gió ngang (vận tốc gió, hướng gió). Kết quả tính toán xác định các hệ số khí động cũng được khảo sát theo các yếu tố phụ thuộc vào điều kiện vận hành (vận tốc dọc của xe) và điều kiện ngoại cảnh (vận tốc và hướng gió). Các kết quả tính toán nghiên cứu về lực và mô men khí động sẽ là cơ sở thông số đầu vào cho

bài toán phân tích và đánh giá ảnh hưởng của lực khí động chúng đến sự mất ổn định của xe khách trong điều kiện có gió ngang. ❖

Ngày nhận bài: **15/5/2022**

Ngày phản biện: **27/5/2022**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Hucho, W. H. (1998). *Aerodynamics of Road Vehicle*. 4th edn. SAE Int. Warrendale.
- [3]. Milan Batista, Marko Perković, (2014) *A simple static analysis of moving road vehicle under crosswind*, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 128 (2014) 105–113.
- [4]. C.J. Baker (1986), *A simplified analysis of various types of wind-induced road vehicle accidents*, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 22, 69-85.
- [5]. Tô Hoàng Tùng, (2016); *Nghiên cứu cải thiện dạng khí động học vỏ xe khách lắp ráp tại Việt Nam*, Luận án Tiến sĩ, Đại học Bách khoa Hà Nội.
- [6]. ANSYS (2011), *ANSYS FLUENT Tutorial Guide*, Release 14.0, ANSYS, Inc. Southpointe 275 Technology Drive Canonsburg, PA 15317.