XÁC ĐỊNH BỘ HỆ SỐ KHÍ ĐỘNG CỦA MỤC TIÊU BAY TỐC ĐỘ CAO SỬ DỤNG ĐỘNG CƠ TÊN LỬA NHIÊN LIỆU RẮN

Mai Văn Tú[1*], Nguyễn Ngọc Lân[1], Đặng Quang Giang[1], Nguyễn Thế Phi[1], Nguyễn Anh Tuấn[2], Trần Thế Hùng[2], Phạm Thành Đồng[2], Lê Vũ Đan Thanh[2]

Tóm tắt: *Mục tiêu bay sử dụng động cơ tên lửa nhiên liệu rắn (MTB01) được nghiên cứu thiết kế, chế tạo mới theo kiểu tên lửa hành trình, có điều khiển, đất đối đất, hai tầng động cơ tên lửa nhiên liệu rắn, mang cụm phát xạ hồng ngoại và khối phản xạ vô tuyến. Mục tiêu MTB01 được ứng dụng làm mục tiêu trong bắn huấn luyện (bắn tập) cho một số loại tên lửa phòng không. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu, xác định bộ hệ số khí động của mục tiêu bay MTB01. Kết quả nghiên cứu là số liệu đầu vào phục vụ mô phỏng, khảo sát, đánh giá quỹ đạo của mục tiêu bay theo yêu cầu chiến kỹ thuật đề ra; qua đó xác định các tham số thiết kế tổng thể và các tham số thiết kế của các cụm khối thành phần của mục tiêu bay.*

Từ khóa: Mục tiêu bay; Hệ số khí động; Nhiên liệu rắn.

1. MỞ ĐẦU

Mục tiêu bay sử dụng động cơ tên lửa nhiên liệu rắn MTB01 được nghiên cứu thiết kế, chế tạo để mô phỏng các phương tiện tác chiến đường không có vận tốc lớn hơn 100 m/s và được sử dụng làm mục tiêu trong bắn tập cho một số loại tên lửa phòng không. Việc tính toán xác định các tham số khí động là một trong các nội dung nghiên cứu thiết kế chế tạo mục tiêu bay MTB01. Kết quả tính toán các tham số khí động là cơ sở để lựa chọn các tham số hình học của mục tiêu bay phù hợp với tính năng chiến kỹ thuật theo yêu cầu đặt ra.

Ngày nay, cùng với sự phát triển của khoa học máy tính, các phương pháp mô phỏng số được ứng dụng rộng rãi trong nghiên cứu khí động của thiết bị bay. Các phương pháp mô phỏng số được chia thành các dạng bậc thấp, bậc trung và bậc cao, tùy thuộc vào cách tiếp cận, số lượng phương trình định giải và số lượng giả thuyết được thừa nhận trong bài toán. Kết hợp phương pháp mô phỏng số với một số phương pháp bán thực nghiệm như tính toán khí động bằng sử dụng phần mềm DATCOM [1], chúng ta có thể xác định được bộ tham số khí động đầy đủ của thiết bị bay. Trong nghiên cứu tính toán các hệ số khí động của mục tiêu bay MTB01, chúng tôi sử dụng các phương pháp tính toán mô phỏng số và bán thực nghiệm với các công cụ: phần mềm ANSYS Fluent, DATCOM và xoáy rời rạc.

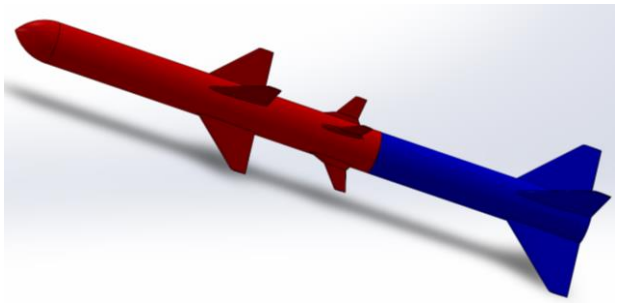
2. MÔ HÌNH MỤC TIÊU BAY VÀ CÁC PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN

2.1. Mô hình khí động mục tiêu bay MTB01 và yêu cầu tính toán

Mô hình khí động mục tiêu bay MTB01 được thiết kế theo sơ đồ hình chữ X, bao gồm hai tầng (tầng phóng và tầng hành trình) như trên hình 1. Trong đó, chóp đầu mục tiêu bay được thiết kế dạng ogive, trên tầng phóng được lắp 04 cánh ổn định, trên tầng hành trình (tầng 2) lắp 04 cánh nâng và 04 cánh điều khiển. Các tham số hình dạng chính của mục tiêu bay MTB01 sử dụng trong tính toán các tham số khí động như sau:

- Đường kính thân: 208 mm;
- Chiều dài tổng thể (2 tầng): 2600 mm;
- Chiều dài tầng hành trình: 1850 mm.

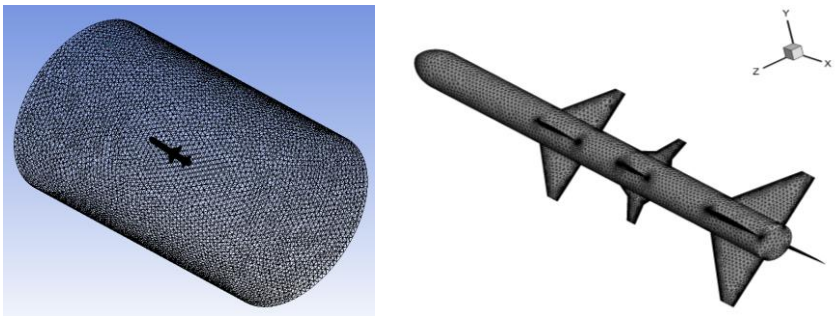
Việc tính toán tham số khí động của mục tiêu bay MTB01 được thực hiện với dải vận tốc từ 50 m/s đến 300 m/s, góc tấn thay đổi từ 0° đến 10°, bằng ba phương pháp: mô phỏng số CFD trên phần mềm ANSYS Fluent, phương pháp xoáy rời rạc và phương pháp bán thực nghiệm bằng phần mềm DATCOM.



Hình 1. *Mô hình mục tiêu bay MTB01.*

2.2. Tính toán các tham số khí động mục tiêu bay MTB01 bằng phương pháp mô phỏng số CFD

Phương pháp mô phỏng số CFD dựa trên giải hệ phương trình Navier-Stokes bằng cách rời rạc hóa. Trong nghiên cứu này, phương pháp trung bình hóa theo Reynolds với mô hình chảy rối $k - \varepsilon$ được sử dụng [2].



Hình 2. *Phân bố lưới quanh mục tiêu bay MTB01 trong ANSYS Fluent.*

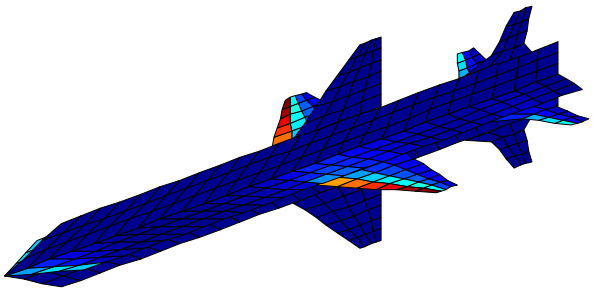
Chia lưới tính toán các tham số khí động mục tiêu bay MTB01trong phần mềm ANSYS Fluent như trên hình 2. Trong đó, vùng tính toán cho mô hình dạng hình trụ có kích thước dài × bán kính = 7 m × 2 m. Việc chia lưới được thực hiện tự động dạng tứ diện với các tham số đầu vào xác định, ở đây kích thước lưới lớn nhất trên bề mặt mục tiêu bay là 0,05 mm; sát bề mặt được chia 5 lớp lưới với tỉ lệ kích thước tăng dần là 1,1. Kích thước lưới dao động từ 1,4 triệu tới 2,2 triệu điểm, với độ xiên của lưới nhỏ hơn 0,81. Ảnh hưởng của lưới tính toán tới độ hội tụ của bài toán cũng được khảo sát cụ thể.

Phương pháp mô phỏng CFD là phương pháp bậc cao, kết quả chính xác và có độ phân giải cao. Tuy nhiên, thời gian tính toán của phương pháp CFD khá dài (có thể vài giờ cho một trường hợp), các yêu cầu về chia lưới cũng khá phức tạp; ngoài ra, một số tham số khí động liên quan tới đạo hàm theo vận tốc góc không thể xác định bằng phương pháp này. Do đó, phương pháp mô phỏng CFD chủ yếu được sử dụng để kiểm chứng các phương pháp khác cũng như để phân tích chi tiết dòng chảy trên mục tiêu bay MTB01 trong một số trường hợp.

2.3. Tính toán các tham số khí động mục tiêu bay MTB01 bằng phương pháp xoáy rời rạc

Phương pháp xoáy rời rạc được sử dụng khá rộng rãi trong giai đoạn đầu của quá trình thiết kế và chế tạo các loại thiết bị bay bởi sự linh hoạt trong tính toán và dễ dàng trong sử dụng. Khi áp dụng phương pháp xoáy rời rạc, các bề mặt nâng như cánh, đuôi đều được coi là rất mỏng, phần thân sẽ được biểu diễn dưới dạng chữ thập. Khi đó bề mặt thiết bị bay được chia ra thành nhiều ô lưới và trên các ô lưới đó ta đặt các hệ xoáy hình móng ngựa với các vị trí liên kết và kiểm tra. Điều kiện biên không thấm được áp dụng tại vị trí các điểm kiểm tra. Ảnh hưởng của tính nén được áp dụng thông qua phép biến đổi Prandtl-Glauert. Mô hình lưới mục tiêu bay MTB01 bằng phương pháp xoáy rời rạc được thể hiện trên hình 3.

Phương pháp xoáy rời rạc là phương pháp bậc trung với độ chính xác và thời gian tính toán tương đối phù hợp (khoảng 1 phút cho mỗi trường hợp), do đó, phương pháp này có thể sử dụng xác định bộ tham số khí động của mục tiêu bay MTB01 cũng như để kiểm chứng các phương pháp khác.



Hình 3. *Chia lưới khí động mục tiêu bay MTB01 theo phương pháp xoáy rời rạc.*

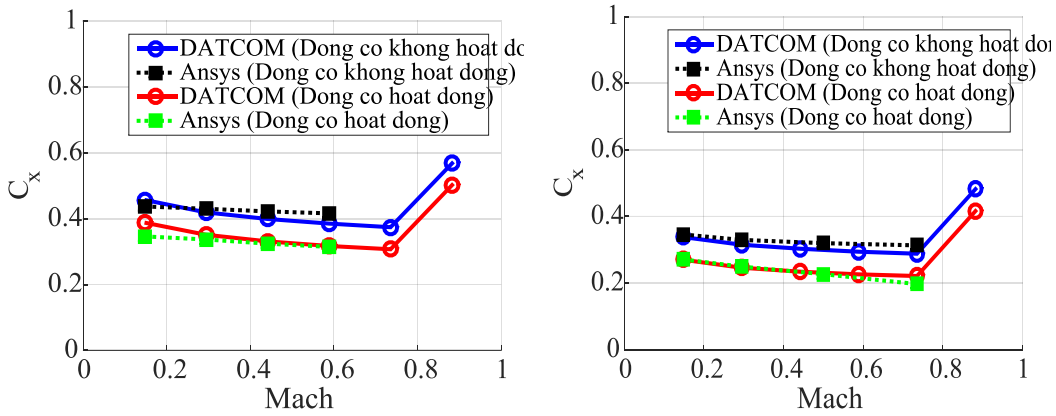
2.4. Tính toán các tham số khí động mục tiêu bay MTB01 bằng phương pháp bán thực nghiệm trên phần mềm DATCOM

Bộ phần mềm DATCOM được sử dụng để tính toán các đặc trưng khí động của các thiết bị bay thông thường theo các lý thuyết bán thực nghiệm [1]. Đây là phương pháp bậc thấp với thời gian tính toán ngắn. Khi phần mềm được biến đổi để chạy trong các vòng lặp của môi trường MATLAB, toàn bộ bộ số liệu đạo hàm khí động có thể thu được trong thời gian dưới 1 phút.

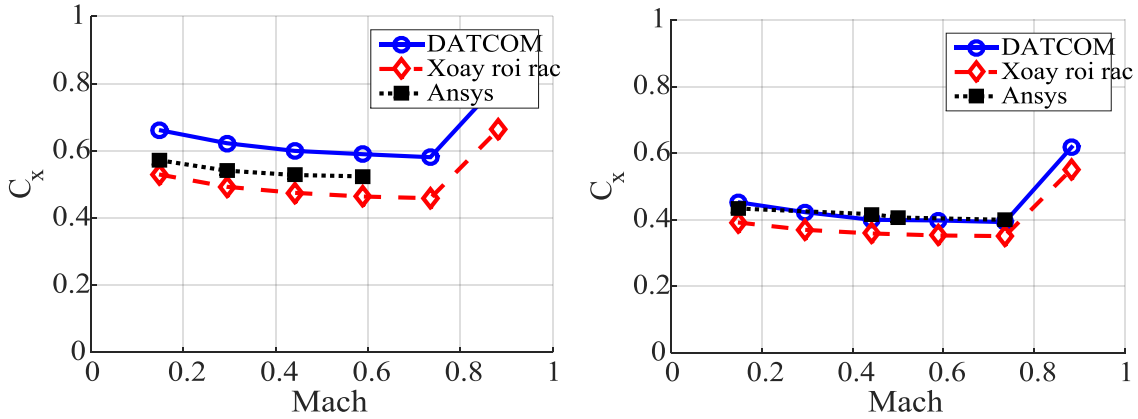
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Hệ số lực cản Cx của mục tiêu bay MTB01

Các đồ thị trên hình 4 thể hiện giá trị hệ số lực cản của mục tiêu bay MTB01 tại các vận tốc khác nhau theo số Mach khi góc tấn bằng 0° và được tính toán theo phương pháp DATCOM và CFD (Ansys Fluent). Đường kính cửa ra loa phụt của động cơ phóng bằng 0,39 lần đường kính thân; đường kính cửa ra loa phụt của động cơ hành trình bằng 0,146 lần đường kính thân. Kết quả chỉ ra rằng, trước khi tách tầng lực cản của mục tiêu bay tăng khoảng 30% so với chỉ có tầng 2. Ngoài ra, khi động cơ hoạt động, lực cản giảm đáng kể. Sai số giữa các phương pháp là tương đối nhỏ, sai số lớn nhất là 7,4 % tại vận tốc 200 m/s. Các kết quả tính toán cho thấy hệ số lực cản của mục tiêu bay MTB01 trước khi tách tầng vào khoảng 0,35-0,45 là khá gần với lực cản của một số loại tên lửa tương tự [3]. Trong bài báo này, các hệ số khí động được đưa về dạng không thứ nguyên với diện tích đặc trưng là diện tích mặt cắt thân mục tiêu bay, độ dài đặc trưng là đường kính thân mục tiêu bay.



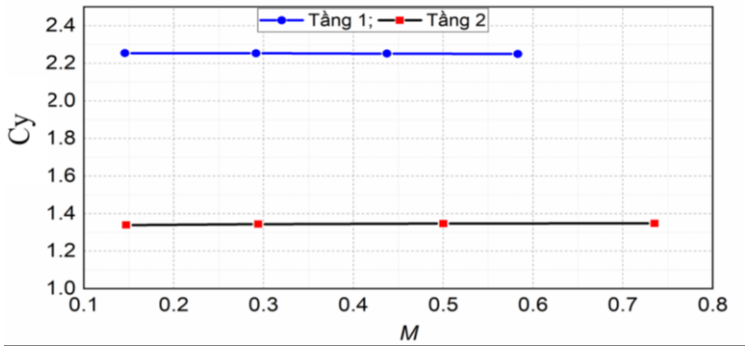
Hình 4. *Hệ số lực cản của mục tiêu bay MTB01 trước (trái) và sau khi tách tầng (phải) tại α=0° theo 3 phương pháp.*



Hình 5. *Hệ số lực cản của mục tiêu bay MTB01 trước (trái) và sau khi tách tầng (phải) tại góc tấn bằng 5°.*

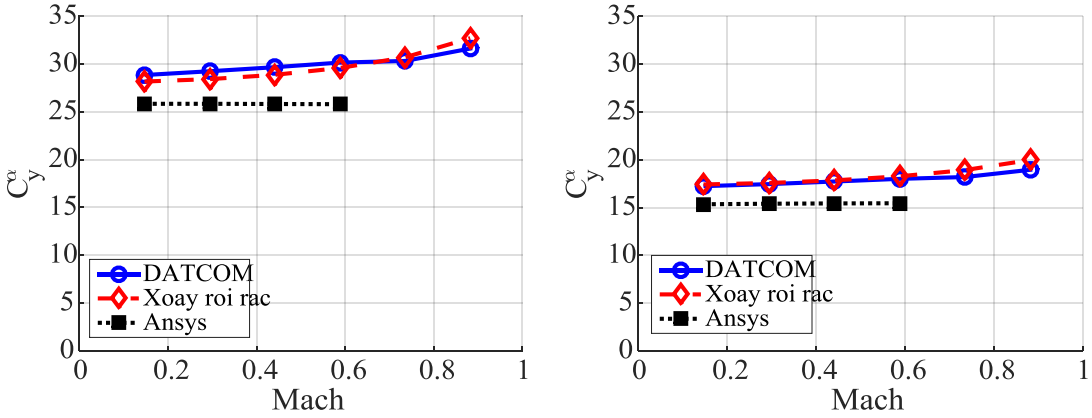
3.2. Hệ số lực nâng Cy của mục tiêu bay MTB01

Do mục tiêu bay bố trí đối xứng, nên giá trị lực nâng gần như bằng 0 trong trường hợp góc tấn bằng 0°. Khi thay đổi góc tấn, lực nâng bắt đầu thay đổi. Hệ số lực nâng cho trường hợp góc tấn bằng 5° được trình bày trên hình 6. Có thể thấy rằng trước và sau khi tách tầng, mục tiêu bay có sự khác biệt tương đối lớn về lực nâng. Do tầng phóng có thêm cánh đuôi, nên hệ số lực nâng của cả mục tiêu bay lớn hơn rất nhiều so với lực nâng của riêng tầng 2.



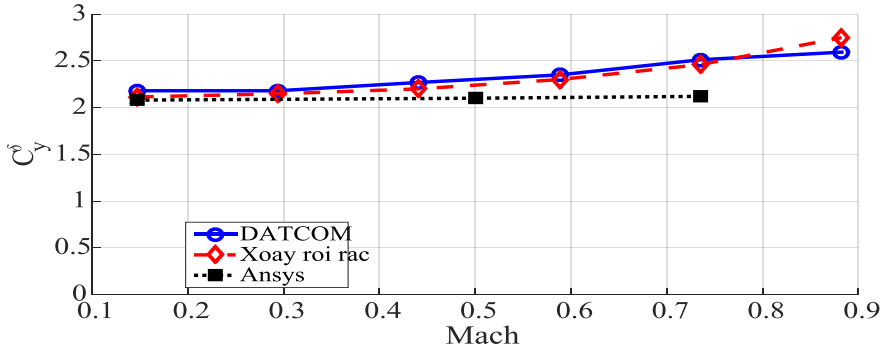
Hình 6. *Hệ số lực nâng của MTB01 tại góc tấn α=5° theo phương pháp CFD.*

Các đồ thị trên hình 7 thể hiện sự thay đổi của đạo hàm hệ số lực nâng theo góc tấn của mục tiêu bay MTB01 với các giá trị vận tốc khác nhau. Kết quả cho thấy đạo hàm hệ số lực nâng tính theo 3 phương pháp có xu hướng tương đồng và khá sát nhau.



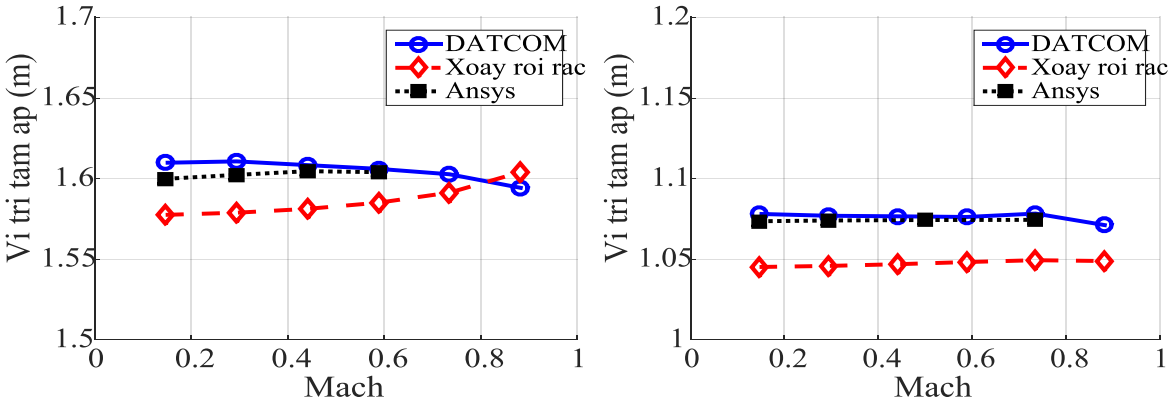
Hình 7. *Đạo hàm hệ số lực nâng theo số Mach trước khi tách tầng (trái) và sau khi tách tầng (b) của mục tiêu bay MTB01.*

Khi thay đổi cánh lái, lực nâng thay đổi, đạo hàm hệ số lực nâng theo góc lệch cánh lái xác định theo các phương pháp khác nhau được biểu diễn trong hình 8.



Hình 8. *Đạo hàm hệ số lực nâng theo góc lệch cánh lái của mục tiêu bay MTB01.*

3.3. Vị trí tâm áp của mục tiêu bay MTB01



Hình 9. *Vị trí tâm áp của MTB01 trước khi tách tầng (trái) và sau tách tầng (phải).*

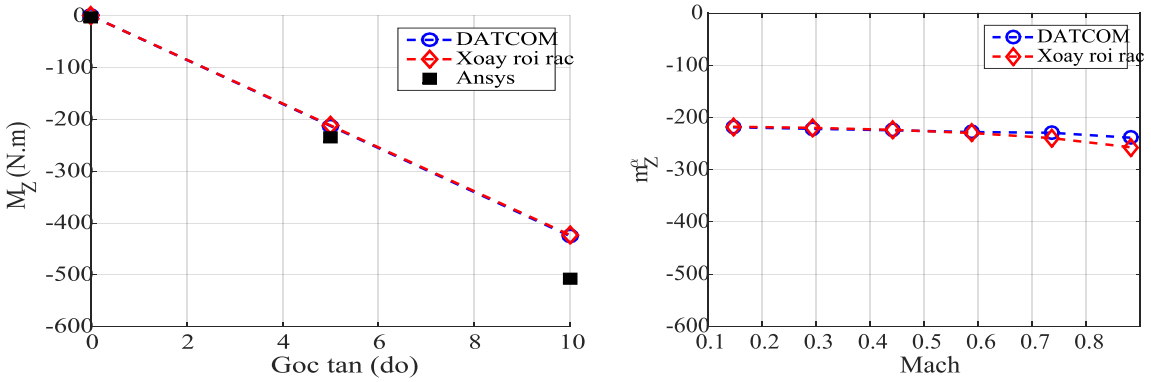
Vị trí tâm áp có vai trò quan trọng trong xác định đặc tính ổn định tĩnh của thiết bị

bay. Vị trí tâm áp của mục tiêu bay MTB01 được tính toán thông qua kết quả tính toán mô men và lực nâng khí động. Kết quả tính toán về vị trí tâm áp mục tiêu bay MTB01 trước và sau khi tách tầng được trình bày trên hình 9.

Ở đây, vị trí tâm áp được tính so với mũi của mục tiêu bay. Có thể thấy rằng, để mục tiêu bay MTB01 ổn định thì vị trí trọng tâm tính từ mũi mục tiêu bay phải nhỏ hơn 1,6 m trong giai đoạn phóng và nhỏ hơn 1,07 trong giai đoạn hành trình.

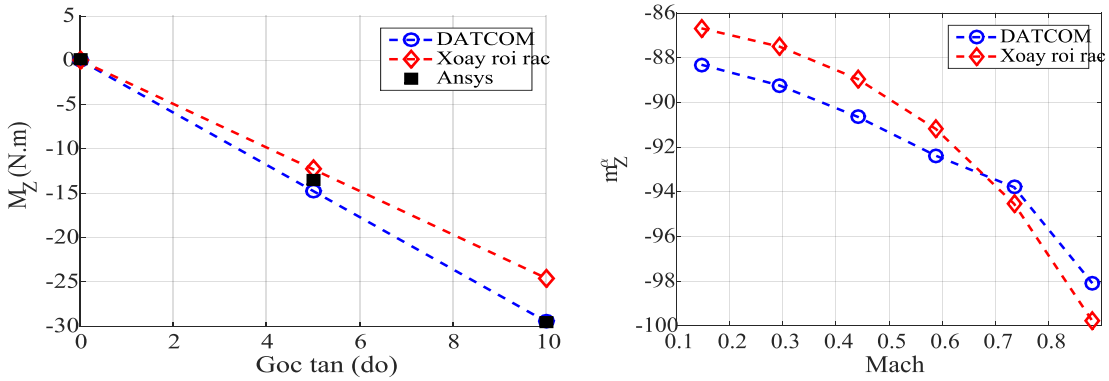
3.4. Mô men khí động của mục tiêu bay MTB01

Các hệ số mô men của mục tiêu bay MTB01 được tính toán, so sánh, kiểm chứng bằng các phương pháp khác nhau. Các đồ thị trên hình 10 biểu diễn sự biến thiên mô-men chúc ngóc M_z theo góc tấn ở vận tốc $V = 50$ m/s đối với mô hình mục tiêu bay trước khi tách tầng. Có thể thấy, kết quả tính toán giữa các phương pháp DATCOM, CFD (sử dụng Ansys Fluent) và xoáy rời rạc là khá tương đồng với nhau. Các mô-men ở đây được xác định đối với mũi của mục tiêu bay.



Hình 10. *Mô men chúc ngóc (trái) và đạo hàm hệ số mô men theo góc tấn (phải) cho mục tiêu bay trước khi tách tầng.*

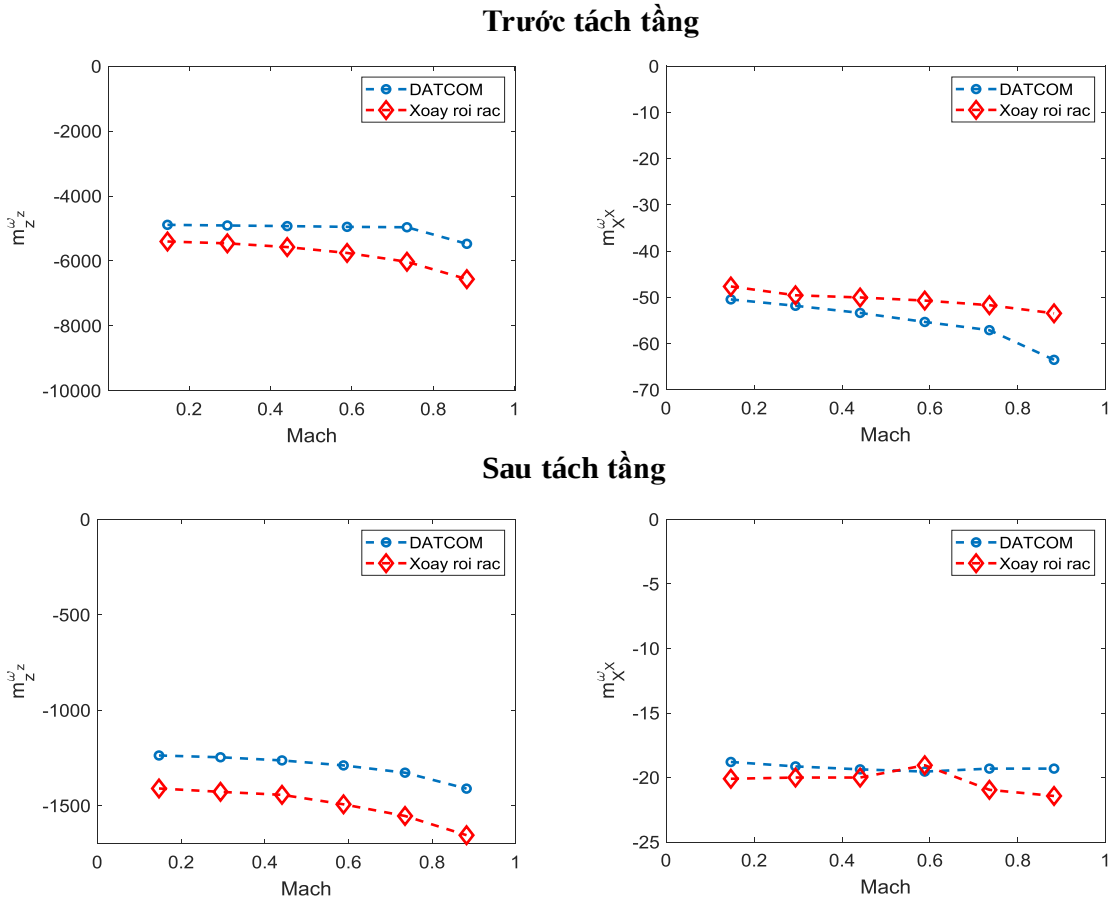
Các kết quả tính toán mô men khí động cho tầng hành trình (tầng 2) của mục tiêu bay MTB01 được thể hiện bằng các đồ thị trên hình 11.



Hình 11. *Mô men chúc ngóc (trái) và đạo hàm hệ số mô men theo góc tấn (phải) cho tầng 2 của mục tiêu bay MTB01.*

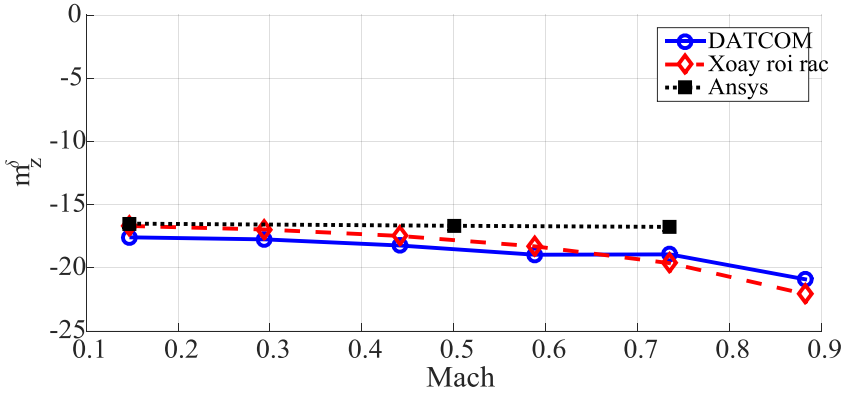
Kết quả tính toán các đạo hàm hệ số mô men theo vận tốc góc của mục tiêu bay MTB01 theo phương pháp xoáy rời rạc và DATCOM được thể hiện trên hình 12, (phần mềm Ansys Fluent không thể tính toán được). Cần lưu ý rằng ở đây, các vận tốc góc

được đưa về dạng không thứ nguyên bằng cách nhân thêm đại lượng $\frac{L}{2V}$, trong đó, L là độ dài đặc trưng và V là vận tốc.



Hình 12. *Đạo hàm hệ số mô-men theo vận tốc góc của mục tiêu bay MTB01 trước và sau tách tầng.*

Đồ thị đạo hàm hệ số mô-men chúc ngóc của mục tiêu bay MTB01 theo góc lệch cánh lái xác định bởi các phương pháp khác nhau được thể hiện trên hình 13.



Hình 13. *Đạo hàm hệ số mô-men chúc ngóc theo góc lệch cánh lái của MTB01.*

Trên cơ sở kết quả tính toán và so sánh giữa ba phương pháp với nhau, nghiên cứu sẽ đưa ra được bộ số liệu các hệ số khí động cho mục tiêu bay MTB01.

4. KẾT LUẬN

Từ các kết quả tính toán các hệ số khí động cho mục tiêu bay MTB01 bằng các phương pháp khác nhau: phần mềm Ansys/FLUENT, phương pháp xoáy rời rạc và phần mềm DATCOM có thể rút ra một số kết luận:

- So sánh các kết quả tính toán cho thấy, các hệ số khí động của mục tiêu bay MTB01 được tính toán bằng ba phương pháp khá tương đồng, điều đó chứng tỏ mô hình tính toán đã xây dựng trong từng phương pháp là chính xác;

- Bộ hệ số khí động của mục tiêu bay MTB01 đảm bảo độ chính xác, có thể sử dụng bộ số liệu này trong tính toán mô phỏng quỹ đạo mục tiêu bay;

- Để mục tiêu bay MTB01 đảm bảo ổn định trong quá trình bay thì vị trí trọng tâm tính từ đầu mũi mục tiêu bay phải nhỏ hơn 1,6 m trong giai đoạn phóng và nhỏ hơn 1,07 m trong giai đoạn bay hành trình; đây là một trong các yêu cầu đặt ra cho nhiệm vụ thiết kế tổng thể mục tiêu bay MTB01.

Lời cảm ơn: *Nghiên cứu này được thực hiện với sự hỗ trợ của Đề tài độc lập cấp Quốc gia "Nghiên cứu, thiết kế, chế tạo mục tiêu bay có vận tốc đến 200 m/s sử dụng động cơ tên lửa nhiên liệu rắn".*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. T. J. Sooy, and Z. S. Rebecca *"Aerodynamic predictions, comparisons, and validations using missile DATCOM (97) and Aeroprediction 98 (AP98),"* Journal of spacecraft and rockets, **Vol. 42,** No. 2 (2005), pp. 257-265.

[2]. D. C. Wilcox David, ***"****Turbulence Modeling for CFD,"* Second edition, Anaheim: DCW Industries," 1998. pp. 174..

[3]. http://www.braeunig.us/space/aerodyn_wip.htm, truy cập ngày 29/5/2021.

ABSTRACT

DETERMINING THE AERODYNAMIC PARAMETERS OF A SOLID-PROPELLANT HIGH-SPEED AERIAL TARGET

The Aerial target using solid propellants rocket motors (MTB01) is researched, designed and manufactured new types of cruise missiles, controlled, surface to surface, two-stage solid propellants rocket motors, carrying infrared emission clusters and radio reflectors, the target is used as a target in training firing for some types of air defense missiles. This paper presents the aerodynamic results of the Aerial target MTB01. These results are the input to the simulation program, which is used to assess the trajectory of the Aerial target based on the tactical requirements. Through this assessment, it is possible to determine the parameters of components and devices installed on the Aerial target.

Keywords: Aerial target; Aerodynamic parameters; Solid propellant.

Nhận bài ngày 07 tháng 6 năm 2021
Hoàn thiện ngày 20 tháng 8 năm 2021
Chấp nhận đăng ngày 24 tháng 9 năm 2021

Địa chỉ: [1]Viện Tên lửa, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự;
[2]Khoa Hàng không-Vũ trụ, Học viện Kỹ thuật quân sự.
[*]Email: maivantu0101@gmail.com.