

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO**

**BỘ QUỐC PHÒNG**

**HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ**

**PHẠM THÀNH ĐỒNG**

**NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH ĐẶC TRƯNG KHÍ ĐỘNG LỰC  
CỦA CÁNH QUAY TRỰC THĂNG XÉT ĐẾN SỰ TƯƠNG TÁC  
VỚI THÂN VÀ MẶT GIỚI HẠN**

**Chuyên ngành: Cơ kỹ thuật**

**Mã số: 62.52.01.01**

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT**

**HÀ NỘI - NĂM 2020**

Công trình được hoàn thành tại:

**HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ**

Người hướng dẫn khoa học:

1. PGS.TS Phạm Vũ Uy, Học viện KTQS
2. PGS.TS Đặng Ngọc Thanh, Học viện KTQS

Phản biện 1: GS.TS Nguyễn Thế Mịch

Phản biện 2: PGS.TS Nguyễn Minh Xuân

Phản biện 3: PGS.TS Phạm Tiến Đạt

Luận án sẽ được bảo vệ trước hội đồng chấm luận án tiến sĩ kỹ thuật cấp Học viện Kỹ thuật Quân sự họp tại.....

vào hồi        giờ, ngày        tháng        năm

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Quốc gia Việt Nam
- Thư viện Học viện Kỹ thuật Quân sự

## MỞ ĐẦU

**Tính cấp thiết của luận án:** Với thế mạnh về tính cơ động và khả năng hoạt động linh hoạt trong mọi địa hình thời tiết, trực thăng (TT) là khí cụ bay (KCB) ngày càng được ứng dụng rộng rãi ở nhiều quốc gia trên thế giới, trong nhiều lĩnh vực, cả quân sự và dân sự. Việc tham gia thực hiện nhiều loại nhiệm vụ, cả về hình thức và điều kiện môi trường (mưa bão, gió lớn, sóng biển, vùng đồi núi...) luôn đặt ra yêu cầu cấp thiết cần nâng cao khả năng điều khiển, đảm bảo an toàn trong khai thác sử dụng TT. Các nghiên cứu về TT nói chung, về khí động trực thăng nói riêng trong những nhiệm vụ bay cụ thể có ý nghĩa quan trọng, là cơ sở khoa học để đưa ra các khuyến cáo bay phù hợp, hạn chế ảnh hưởng của điều kiện địa hình thời tiết đến quá trình bay, nâng cao tính an toàn, độ tin cậy trong mỗi chuyến bay. Bên cạnh đó, ở Việt Nam, nhu cầu cải tiến hoàn thiện các thiết bị tập lái, bổ sung các tính năng mô phỏng phục vụ hiệu quả công tác huấn luyện phi công thông qua việc hoàn thiện mô hình tính toán khí động CQ ngày càng trở nên cấp thiết. Yêu cầu xác định chính xác bộ dữ liệu vận tốc dòng khí khi TT hạ cánh làm cơ sở để hoàn thành các dự án như thiết kế chế tạo mìn chống đổ bộ vẫn rất thời sự. Đặc biệt bài toán đảm bảo an toàn bay khi TT cất hạ cánh trên tàu, trên nóc nhà cao tầng, hoặc trên giàn khoan rất cần có các nghiên cứu phân tích đánh giá nâng cao khả năng điều khiển. Từ đó thấy được rằng việc nghiên cứu xây dựng mô hình cánh quay trực thăng (CQTT) có xét đến các yếu tố phi tuyến không dừng đặc trưng cho chuyển động của TT, có xét đến ảnh hưởng cảm ứng từ các thành phần khác của TT và ảnh hưởng của bề mặt địa hình mang ý nghĩa hết sức quan trọng. Từ những vấn đề phân tích nói trên, tác giả đã xây dựng luận án (LA) “*Nghiên cứu xác định đặc trưng khí động lực của cánh quay trực thăng xét đến sự tương tác với thân và mặt giới hạn*”, đảm bảo tính mới, tính thực tiễn và có ý nghĩa khoa học.

**Mục đích nghiên cứu của LA:** Xây dựng mô hình toán và phương pháp xác định các đặc trưng khí động của CQTT khi xét đến ảnh hưởng của thân và mặt giới hạn; Khảo sát bài toán tương tác khí động giữa cánh quay (CQ), thân TT và mặt giới hạn, nghiên cứu mô phỏng sự biến đổi của các đặc tính khí động CQ khi xét đến tương quan vị trí giữa CQ với thân TT; Nghiên cứu ảnh hưởng của hình dạng, kích thước của mặt giới hạn trong một số trường hợp TT hạ cánh.

**Đối tượng nghiên cứu của LA:** CQTT có một hay nhiều lá cánh; Thân TT có thể tích (3D); Mặt giới hạn có kích thước và hình dạng tùy ý; Tương tác cảm ứng khí

động CQ – thân TT – mặt giới hạn.

**Phạm vi nghiên cứu của LA:** Tập trung nghiên cứu xây dựng mô hình xoáy CQTT có xét đến sự ảnh hưởng cảm ứng của thân và mặt giới hạn tới các đặc trưng khí động (ĐTKĐ) của CQ. Mô hình CQ được xét có các lá cánh quạt (LCQ) gắn cứng, không xét đến các khớp chuyển động và độ vắn của LCQ; Chế độ bay được áp dụng tính toán khảo sát chủ yếu là chế độ thổi đứng (bay treo, bay lên và xuống thẳng đứng).

**Phương pháp nghiên cứu:** Kết hợp giữa nghiên cứu xây dựng mô hình tính toán theo lý thuyết xoáy và mô phỏng số.

**Ý nghĩa khoa học và thực tiễn:** Có những đóng góp mới trong việc xây dựng mô hình toán nghiên cứu tương tác khí động giữa các thành phần trong hệ đa vật bằng phương pháp xoáy rời rạc. Áp dụng mô hình xoáy khuếch tán vào các mô hình xoáy, làm cho mô hình toán xây dựng bằng phương pháp xoáy trở nên hoàn thiện hơn; Trên cơ sở lý thuyết xây dựng mô hình toán, tạo ra bộ công cụ tính toán linh hoạt, đảm bảo độ chính xác, góp phần nâng cao hiệu quả quá trình khai thác vận hành trực thăng trong nước, phục vụ tốt cho các dự án nghiên cứu khoa học như dự án buồng tập lái trực thăng, dự án chế tạo sản xuất mìn chống đổ bộ từ trực thăng và các dự án khác...; Đề xuất cách tiếp cận sử dụng phương pháp xoáy rời rạc (XRR) khung xoáy kín để mô phỏng dòng chảy bao vật thể 3D.

**Các nội dung chính trong đề tài:** Xây dựng cơ sở lý thuyết các mô hình toán học phi tuyến không dừng của CQTT, của CQ – Thân TT, và của CQ – Thân – Mặt giới hạn theo lý thuyết XRR với phần tử xoáy khung kín tứ giác, xét đến hiện tượng khuếch tán xoáy; Tạo ra bộ công cụ tính toán trên cơ sở lý thuyết các mô hình toán đã xây dựng, nghiên cứu kiểm chứng các mô hình; Sử dụng công cụ tính toán đã kiểm chứng áp dụng các bài toán cụ thể trong thực tiễn khai thác vận hành TT.

**Bố cục của LA:** gồm phần mở đầu và bốn chương nội dung, phần kết luận, danh mục các công trình liên quan đến LA đã công bố, danh mục các tài liệu tham khảo và phần phụ lục.

## **Chương 1. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU VỀ KHÍ ĐỘNG CQTT**

### **1.1. Tình hình nghiên cứu trên thế giới**

Trên thế giới có rất nhiều công trình nghiên cứu về khí động trực thăng với nhiều hướng tiếp cận và bằng nhiều phương pháp [10], [12], [21], [36], [41], [74], [77], [86], [95]... Các lý thuyết xung của Iuriev và Sabina, lý thuyết xoáy cánh quay của

Zhukovsky [62], [67], [73] và của Belotserkovsky cùng các học trò [59], [60], [61], [63], [64], [65] được nhiều nhà nghiên cứu sử dụng để xác định tốc độ cảm ứng, từ đó xác định ĐTKĐ của CQTT. Việc có nhiều công trình nghiên cứu về khí động lực học cánh quay trực thăng bằng nhiều phương pháp góp phần thúc đẩy tiến bộ khoa học, nâng cao trình độ năng lực nghiên cứu trong lĩnh vực khí động lực học. Các công trình nghiên cứu về sự tương tác khí động giữa các thành phần của trực thăng có ý nghĩa khoa học cao như công trình của John Berry [26], công trình của Liu Dawei [31] và nhiều công trình khác sử dụng phương pháp CFD để nghiên cứu tương tác khí động CQTT- Thân TT [14], [16], [40], [42], [43], [47], [51], [53]. Các công trình kể trên đều tập trung khảo sát tính toán sự phân bố áp suất trên thân trực thăng, không nghiên cứu tác động của thân lên đặc tính khí động của CQ. Bên cạnh bài toán tương tác khí động, xu hướng nghiên cứu nâng cao và hoàn thiện phương pháp tính toán trong khí động lực học cũng được nhiều nhà khoa học trên thế giới quan tâm. Các nghiên cứu của tác giả Tsheglova V. M [90], [92÷94] về đặc tính khí động cánh quay xét đến hiệu ứng khuếch tán của xoáy, kết quả tính toán được so sánh với thực nghiệm, có độ chính xác cao. Tuy nhiên các công trình này chỉ tập trung nghiên cứu sâu về hiện tượng khuếch tán lõi xoáy, mà chưa có các phát triển trong nghiên cứu tương tác khí động.

Về mặt phương pháp nghiên cứu, để có được các số liệu khí động của CQTT ngày nay người ta sử dụng nhiều cách tiếp cận. Theo sự phát triển của khoa học và kỹ thuật tính toán, các nghiên cứu về khí động trực thăng sử dụng phương pháp giải số ngày càng nhiều, độ chính xác ngày càng cao. Phương pháp số có thể xét đến tính nén, tính nhớt của dòng khí đang phát triển mạnh trên thế giới như các mô đun CFD của Ansys. Mô đun CFD của Ansys có yêu cầu tương đối cao về tài nguyên máy và thời gian tính toán, hơn nữa không làm nổi bật được đặc điểm của các tương tác cảm ứng. Kỹ thuật chia lưới ảnh hưởng nhiều đến độ chính xác của bài toán. Mặc dù vậy phương pháp tính toán khí động bằng CFD cũng có nhiều ưu điểm mà nhờ đó nó được sử dụng phổ biến ngày nay. Phương pháp CFD có cách xây dựng mô hình tương đối độc lập, khách quan, có các mô đun tính toán giả lập môi trường gần với điều kiện thực tế. Các kết quả đạt được từ phương pháp giải CFD khá trực quan, có độ chính xác tương đối cao. Chính bởi các ưu điểm này mà trong nhiều công trình, phương pháp CFD thường được các nhà khoa học sử dụng như một phương pháp “thực nghiệm ảo”, một cách tính khác để so sánh kết quả, kiểm chứng mô hình toán [20], [21], [36], [41], [74], [77].

Phương pháp XRR là phương pháp số được hình thành dựa trên cơ sở lý thuyết xoáy của Zhukovsky .N.Y, cho phép mô hình hóa được bản chất của sự hình thành lực nâng (lực pháp tuyến do sự chênh lệch áp suất) và lực cản cảm ứng [18], [19], [29], [59], [63]. Đây là phương pháp rất ưu việt trong việc xác định tốc độ cảm ứng và mô phỏng các dòng xoáy chảy bao CQTT, được nhiều nhà khoa học trên thế giới nghiên cứu phát triển (Belotserkovsky S. M, Ludwig Prandtl, V.M. Falkner, Katz & Plotkin,...[37], [54], [55], [69], [85]). Nhiều nghiên cứu chỉ ra rằng phương pháp XRR thích hợp trong việc tính toán các đặc tính khí động CQTT và các KCB tốc độ thấp [27]. Đặc biệt phương pháp XRR rất ưu việt để nghiên cứu tương tác khí động giữa các vật trong hệ khí động đa vật [22], [31], [76], [96]. Phương pháp XRR không yêu cầu cao về cấu hình máy tính, có thời gian tính toán nhanh. Các phần tử xoáy ứng dụng trong phương pháp XRR đa dạng và linh hoạt, phù hợp nhiều dạng bài toán, mô phỏng được hình dạng phức tạp của nhiều đối tượng nghiên cứu. Tiêu biểu như trong các công trình của Moutsar .P.I [87], [88], [89]; các công trình của Jelaniikov A.I [23], [72]; Liphonov I.K [84], [85]; của J. Katz và A. Plotkin [29]...Bài toán chảy bao khí động CQ còn đặc trưng rất lớn bởi tính phi tuyến, tính không dừng. Do vậy hướng tiếp cận phi tuyến không dừng và sử dụng phương pháp XRR để xây dựng mô hình tính toán khí động CQ là phù hợp.

Có thể thấy rằng mặc dù bài toán thiết kế chế tạo TT đã xuất hiện và phát triển từ rất lâu, tuy nhiên do tính ứng dụng của TT làm cho các vấn đề nghiên cứu liên quan đến khí động TT vẫn không ngừng phát triển. Các nghiên cứu về khí động TT luôn có tính thời sự, đặc biệt là các bài toán tương tác khí động đa vật, bài toán khảo sát ảnh hưởng của bề mặt địa hình và mô phỏng dòng chảy bao vật thể 3D rất có tính cấp thiết.

## **1.2. Tình hình nghiên cứu trong nước**

Ở Việt Nam, nghiên cứu về khí động học nói chung và khí động cánh quay trực thăng nói riêng ngày càng được quan tâm và phát triển. Ngày càng có nhiều công trình nghiên cứu về khí động trực thăng được công bố trên các tạp chí chuyên ngành uy tín. Nổi bật về nghiên cứu khí động trực thăng là nhóm các công trình sử dụng phương pháp XRR để tính toán, xây dựng mô hình xoáy tuyến tính hoặc phi tuyến, với phần tử xoáy hình móng ngựa [2], [3], [5], [6], [7], [8], [9]. Nhóm các công trình này được định hướng để giải quyết các bài toán chảy bao vật thể dạng mỏng riêng rẽ, không mô phỏng được lớp bài toán có sự chảy bao vật có thể tích, và không phù hợp với lớp bài toán

tương tác khí động. Bên cạnh đó, đặc điểm của các màn xoáy tự do phát triển liên tục về phía sau và biến đổi mở rộng theo thời gian, nghĩa là luôn có sự khuếch tán xoáy trong không gian dòng chảy. Điều này chưa được đề cập tới ở các công trình nghiên cứu trong nước. Mặc dù vậy thấy rằng, ở thời điểm kỹ thuật tính toán chưa phát triển, phương pháp XRR đã được các tác giả trong nước ứng dụng hiệu quả, thể hiện được nhiều ưu thế trong giải quyết các bài toán khí động học, đáp ứng được các yêu cầu phát triển khoa học công nghệ của Nhà nước và Quân đội.

### **Kết luận chương 1**

Nghiên cứu tính toán khí động CQTT vẫn là đề tài được quan tâm, xuất phát từ ứng dụng thực tiễn. Có nhiều phương pháp, tuy nhiên sử dụng phương pháp xoáy trong nghiên cứu tương tác khí động CQTT là phù hợp và hiệu quả, hợp với xu thế phát triển chung của thế giới. Các công trình nghiên cứu về khí động CQTT trong nước đã đạt được một số kết quả nhất định, mặc dù vậy mới dừng lại ở nghiên cứu CQ độc lập dựa trên nền XRR với phần tử cơ bản là xoáy hình móng ngựa; đối tượng tính toán mô phỏng đều dưới dạng bản mỏng; chưa nghiên cứu hiện tượng khuếch tán xoáy. Điều này cho thấy hướng nghiên cứu của LA về tương tác khí động lực học CQ – thân TT, xét đến hiệu ứng khuếch tán xoáy và xét đến sự ảnh hưởng của bề mặt địa hình là một hướng nghiên cứu mới, có tính thời sự và tính cấp thiết, được nhiều nhà khoa học quan tâm.

## **Chương 2. NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG MÔ HÌNH TOÁN**

### **2.2. Xây dựng mô hình xoáy cánh quay phi tuyến không dừng**

#### **2.2.1. Các giả thiết và điều kiện biên**

Xét chuyển động của CQTT trong hệ trục tọa độ  $OXYZ$  với vận tốc  $U_0$  dưới góc tấn  $\alpha_{cq}$  theo hướng âm của trục  $OX$ , CQ quay xung quanh trục  $OZ$  với vận tốc góc  $\omega$  (hình 2.1). Theo khía cạnh toán học, tính toán khí động CQTT bằng phương pháp XRR hướng đến việc xác định trường tốc độ  $W(\vec{r}, t)$  và trường áp suất  $p(\vec{r}, t)$  trong hệ tọa độ không gian thỏa mãn các điều kiện và giả thiết sau [23], [72]:

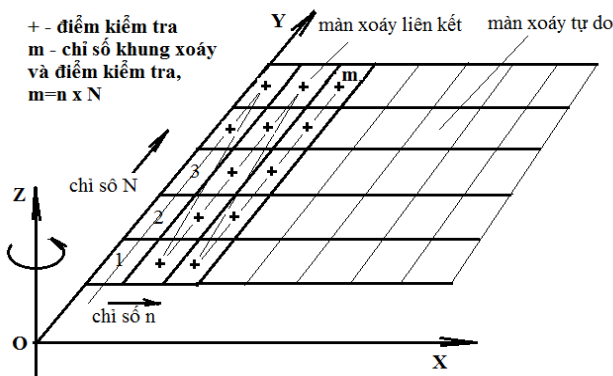
- Thế vận tốc nhiễu  $\Phi(\vec{r}, t)$  tại mỗi thời điểm ở bên ngoài các bề mặt xoáy (các bề mặt xoáy liên kết và xoáy tự do) phải thỏa mãn phương trình Laplace:
- Trên bề mặt LCQ được thay thế bởi các màn xoáy liên kết phải thỏa mãn điều kiện chảy không thấm.
- Trên các màn xoáy tự do cần thỏa mãn điều kiện không có sự chênh áp.

- Trên vị trí dòng khí thoát ra khỏi bề mặt LCQ (ở đây là mép sau lá cánh quay) phải thỏa mãn điều kiện Traplugin- Jucópski-Kutta về vận tốc hữu hạn và màn xoáy thoát ra có phương tiếp tuyến với bề mặt lá cánh.

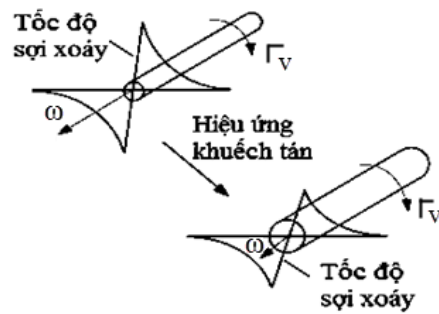
- Tốc độ nhiễu tắt dần khi độ dài màn xoáy tiến xa vô cùng.

### 2.2.2. Xây dựng mô hình toán học

Các bề mặt lá cánh và hệ thống màn xoáy tự do thoát ra sau các lá cánh được thay thế bởi các màn xoáy khung kín hình tứ giác. Thay LCQ bằng màn xoáy liên tục, thực hiện rời rạc hóa màn xoáy theo kích thước của LCQ. Cụ thể chia mỗi lá cánh của CQ theo hướng sải cánh thành  $N$  dải xoáy và theo hướng dây cung lá cánh thành  $n$  khung xoáy. Như vậy mỗi LCQ sẽ được thay thế bởi màn xoáy liên kết có  $m = n \times N$  khung xoáy tứ giác. Các điểm kiểm tra (được đánh dấu bằng kí hiệu “+” như trên hình 2.7) mà tại đó thực hiện điều kiện không chảy thắm.



Hình 2.7. Mô hình LCQ và phân bố các khung xoáy



Hình 2.10. Mô hình khuếch tán xoáy

Các vết xoáy hình thành sau LCQ cũng được mô phỏng bằng hệ thống các khung xoáy tứ giác chuyển động cùng với các phần tử của dòng khí. Phần tử xoáy khung dạng tứ giác được cấu tạo từ 4 đoạn xoáy thành phần, do vậy việc xác định tốc độ cảm ứng gây ra bởi khung xoáy tứ giác tại một điểm bất kì trong không gian chính bằng tổng tốc độ cảm ứng gây bởi các đoạn xoáy thành phần [29],[63]:

$$\mathbf{q}_{P-1234}(u, v, w) = \mathbf{q}_{12}(u_1, v_1, w_1) + \mathbf{q}_{23}(u_2, v_2, w_3) + \mathbf{q}_{34}(u_3, v_3, w_3) + \mathbf{q}_{41}(u_4, v_4, w_4)$$

Mỗi thành phần  $(u_i, v_i, w_i), i = 1 \div 4$  được xác định dựa theo định luật Biot-Savart [29],[63]. Đoạn xoáy 12 có lưu số tốc độ  $\Gamma$  gây ra tốc độ cảm ứng tại điểm  $P(x_p, y_p, z_p)$  trong không gian là:

$$\mathbf{q}_{12} = \frac{\Gamma}{4\pi} \frac{\mathbf{r}_1 \times \mathbf{r}_2}{|\mathbf{r}_1 \times \mathbf{r}_2|^2} \mathbf{r}_0 \cdot \left( \frac{\mathbf{r}_1}{r_1} - \frac{\mathbf{r}_2}{r_2} \right) \quad (2.12)$$

**Mô hình khuếch tán xoáy:** Biểu thức (2.12) cho thấy nếu điểm cần tính tốc độ



cảm ứng nằm trên sợi xoáy (tức là P nằm trên đoạn xoáy 12), sẽ xuất hiện điểm kỳ dị và không thể xác định được giá trị tốc độ cảm ứng tại điểm đó (do mẫu số bằng 0). Giải quyết vấn đề này, trong LA áp dụng mô hình khuếch tán xoáy của Squire, Bhagwat và Leishman với tỉ số thay đổi độ nhớt  $\mathcal{D} = 8$  [38], [39], [44] (hình 2.10).

$$r_c = \sqrt{r_{x0}^2 + 4 \cdot \alpha_L \cdot \nu \cdot \mathcal{D} \cdot t} \quad (2.13)$$

Khi xét đến yếu tố bán kính lõi xoáy, công thức xác định tốc độ cảm ứng tại một điểm gây bởi một đoạn xoáy trong không gian cho bởi định luật Biot - Savart cũng sẽ thay đổi [29], [92], [93]:

$$\mathbf{q}_{12} = \frac{\Gamma}{4\pi} \frac{\mathbf{r}_1 \times \mathbf{r}_2}{|\mathbf{r}_1 \times \mathbf{r}_2|^2 + r_0^2 \cdot r_c^2} \mathbf{r}_0 \cdot \left( \frac{\mathbf{r}_1}{\sqrt{r_1^2 + r_c^2}} - \frac{\mathbf{r}_2}{\sqrt{r_2^2 + r_c^2}} \right) \quad (2.14)$$

Tọa độ các điểm kiểm tra trên mỗi khung xoáy được xác định từ tọa độ của các đỉnh tứ giác tạo nên khung xoáy. Điều kiện biên theo lý thuyết XRR về tính chảy không thấm của dòng trên bề mặt mỗi LCQ tại mỗi điểm kiểm tra là cơ sở để thiết lập hệ phương trình tuyến tính với ẩn số là cường độ của các khung xoáy:

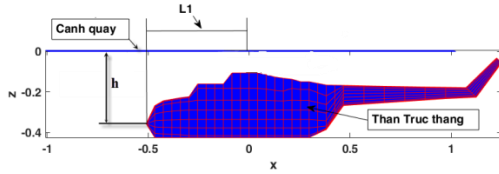
$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{3m} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \Gamma_1 \\ \Gamma_2 \\ \vdots \\ \Gamma_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} RHS_1 \\ RHS_2 \\ \vdots \\ RHS_m \end{pmatrix} \text{ hay } (AI)_{m \times m} \times (\Gamma^{CQ})_{m \times 1} = (BI)_{m \times 1} \quad (2.15)$$

Nếu CQ có số LCQ là  $k_{cq} > 1$ , tổng số xoáy thay thế các bề mặt LCQ trong CQ sẽ là  $m \cdot k_{cq}$ . Do vậy số phương trình và số ẩn của hệ phương trình (2.15) cũng sẽ tăng lên  $k_{cq}$  lần. Giải các hệ phương trình (2.15), xác định được các giá trị cường độ của mỗi khung xoáy liên kết thành phần, đây là cơ sở để tính toán các đặc tính khí động của mô hình cánh quay. Các kết quả đưa ra qua các tính toán từ mô hình xoáy CQ dựa trên các kích thước tham chiếu là bán kính  $R$  của LCQ, vận tốc đầu mút LCQ  $\omega R$  và diện tích quét CQ,  $F = \pi R^2$ .

### 2.3. Xây dựng mô hình xoáy CQ - Thân trực thăng

Bề mặt thân được chia nhỏ và được thay thế bằng các khung xoáy liên kết hình tứ giác có cường độ thay đổi. Theo nguyên tắc của lý thuyết xoáy, trên bề mặt của thân TT cần thỏa mãn điều kiện biên về tính không chảy thấu. Mô hình xoáy CQ – Thân TT gồm hai hệ thống xoáy liên kết hình tứ giác thay thế cho bề mặt LCQ và bề mặt thân TT. Hai hệ thống xoáy này tác động qua lại lẫn nhau thể hiện sự ảnh hưởng cảm ứng

khí động giữa CQ và thân TT. Mô hình thân TT được mô hình hoá bởi  $M$  khung xoáy liên kết. Số lượng các khung xoáy tứ giác thay thế bề mặt thân TT được lấy dựa trên cơ sở cân bằng các yếu tố về điều kiện hội tụ và giảm thiểu khối lượng tính toán [63]. Vị trí tương đối giữa thân TT và CQ được xác định bởi tham số  $h$  và  $L1$  (hình 2.14).



Hình 2.14. Mô hình CQ – Thân

$$\begin{bmatrix} (A1)_{m \times m} & (A2)_{m \times M} \\ (A3)_{M \times m} & (A4)_{M \times M} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} (\Gamma^{CQ})_{m \times 1} \\ (\Gamma^{Th})_{M \times 1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (B1)_{m \times 1} \\ (B2)_{M \times 1} \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

CQ được thay thế bởi  $m$  khung xoáy tứ giác, do vậy mô hình xoáy CQ – Thân TT có tổng số khung xoáy là  $m+M$ . Đây cũng là số lượng điểm kiểm tra của mô hình xoáy CQ – Thân TT. Áp dụng điều kiện biên theo lý thuyết XRR về tính chảy không thấm của dòng tại các điểm kiểm tra trong mô hình xoáy CQ – Thân TT, nhận được hệ phương trình tuyến tính xác định cường độ của các xoáy trong hệ khí động đa vật CQ – Thân viết ở dạng ma trận như biểu thức (2.20). Trong hệ phương trình (2.20), các ma trận hệ số  $A1$ ,  $B1$  thể hiện các tác động của các xoáy liên kết trên bề mặt CQ tại các điểm kiểm tra nằm trên chính CQ. Ma trận ảnh hưởng  $\Gamma^{CQ}$  là lưu số tốc độ của các xoáy liên kết thay thế bề mặt CQ. Các ma trận hệ số  $A2$ ,  $A3$ ,  $A4$ ,  $\Gamma^{Th}$ ,  $B2$  mô tả các tác động khí động liên quan đến các xoáy liên kết trên bề mặt thân TT.

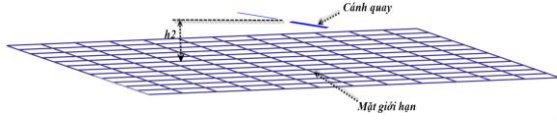
#### 2.4. Xây dựng mô hình xoáy CQ và mô hình xoáy CQ – Thân TT trong điều kiện có tương tác với các đối tượng khác

Trong thực tế hoạt động, TT thường xuyên có các chuyến bay trong thành phố, bên cạnh các nhà cao tầng, bay trong các vùng đồi núi, thung lũng và chịu tác động cảm ứng từ các bề mặt địa hình lồi lõm phức tạp. Để nghiên cứu các tác động tương tác từ bên ngoài như vậy đối với ĐTKĐ của TT, chỉ sử dụng mô hình toán CQ đơn lẻ hoặc mô hình toán CQ – Thân TT là không đủ. Các mô hình xoáy CQ – Mặt giới hạn (MGH) và mô hình xoáy CQ – Thân – Mặt giới hạn xây dựng trong các phần dưới đây sẽ giải quyết vấn đề đó.

##### 2.4.1. Xây dựng mô hình xoáy CQ – Mặt giới hạn

Có thể nghiên cứu hiệu ứng mặt đất bằng nhiều phương pháp, tuy nhiên sử dụng phương pháp xoáy là một trong những cách tiếp cận khá phổ biến và theo 2 cách sau: sử dụng phương pháp đối xứng gương và phương pháp mô phỏng các bề mặt giới hạn bằng hệ thống các khung xoáy [63]. Trong LA này, sử dụng phương pháp thứ 2 để

ngiên cứu ảnh hưởng của địa hình (mặt giới hạn) đến đặc trưng khí động của CQTT (hình 2.16). Mặt giới hạn trong mô hình được mô phỏng bằng hệ thống các khung xoáy, và có vị trí tương đối với CQ theo các tham số khoảng cách  $h_2$ .



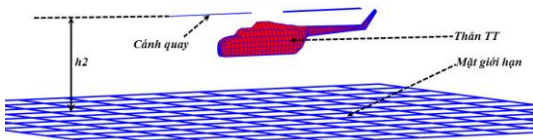
Hình 2.16. Mô hình CQ - Mgh

$$\begin{bmatrix} (A1)_{m \times m} & (C2)_{m \times L} \\ (C3)_{L \times m} & (C4)_{L \times L} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} (\Gamma^{CQ})_{m \times 1} \\ (\Gamma^{Mgh})_{L \times 1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (B1)_{m \times 1} \\ (B3)_{L \times 1} \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

Bằng cách tiếp cận xây dựng các ma trận hệ số tương tự mô hình xoáy CQ – Thân TT, hệ phương trình tuyến tính xác định cường độ của các xoáy trong hệ khí động đa vật CQ - Mặt giới hạn biểu thức (2.21). Trong biểu thức (2.21) các ma trận  $C_i$  ( $i=2 \div 4$ ),  $\Gamma^{Mgh}$ ,  $B3$  được tính toán từ các phần tử xoáy mô phỏng mặt giới hạn. Chỉ số  $L$  thể hiện số lượng các phần tử xoáy thay thế cho kích thước của mặt giới hạn.

#### 2.4.2. Xây dựng mô hình xoáy CQ – Thân TT - Mặt giới hạn

Hiệu ứng mặt đất trong mô hình TT có cả CQ và thân có thể tạo ra sự khác biệt trong sự chuyển động của dòng khí bên dưới CQ, gây ảnh hưởng tới đặc trưng khí động của CQ. Trong mô hình TT có thân bên dưới CQ, khi TT bay gần MGH, dòng khí phản xạ từ MGH ngoài việc tương tác với mặt phẳng quay của CQ, còn va đập với bề mặt thân TT, tạo ra hiệu ứng đệm khí khác so với mô hình TT chỉ có CQ.



Hình 2.17. Mô hình CQ – Thân TT – MGH

$$\begin{bmatrix} (A1)_{m \times m} & (A2)_{m \times M} & (C2)_{m \times L} \\ (A3)_{M \times m} & (A4)_{M \times M} & (C1)_{M \times L} \\ (C3)_{L \times m} & (C5)_{L \times M} & (C4)_{L \times L} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} (\Gamma^{CQ})_{m \times 1} \\ (\Gamma^{Th})_{M \times 1} \\ (\Gamma^{Mgh})_{L \times 1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (B1)_{m \times 1} \\ (B2)_{M \times 1} \\ (B3)_{L \times 1} \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

Trên cơ sở mô hình xoáy CQ – Thân TT đã xây dựng, tiến hành phát triển thành mô hình CQ – Thân – Mặt giới hạn để nghiên cứu khảo sát ảnh hưởng của hiệu ứng mặt đất, và ảnh hưởng của các tham số hình dạng địa hình đến đặc trưng khí động của CQTT khi hạ cánh. Trong biểu thức (2.22), các ma trận hệ số  $A2$ ,  $A3$ ,  $A4$  và  $B2$  được tính toán từ hệ xoáy trên thân TT và sự tương tác giữa hệ xoáy trên thân với các hệ xoáy trên CQ, trên MGH. Các ma trận hệ số  $C_i$  ( $i=1 \div 5$ ) và  $B3$  được xác định bởi hệ xoáy mô tả MGH và sự tương tác của nó với các hệ xoáy trên CQ, trên thân TT. Các ma trận ẩn  $\Gamma^{CQ}$ ,  $\Gamma^{Th}$ ,  $\Gamma^{Mgh}$  là lưu số tốc độ của các phần tử xoáy trên các hệ xoáy thay thế bề mặt CQ, bề mặt thân TT và bề mặt MGH.

## Kết luận chương 2

Chương 2 trình bày khái quát nguyên lý hoạt động và các tham số khí động chính của trục thẳng. Trên nền tảng lý thuyết xoáy, tiến hành xây dựng mô hình xoáy CQ, mô hình xoáy CQ có xét đến ảnh hưởng của thân TT dạng 3D và ảnh hưởng của mặt giới hạn. Trong các mô hình xoáy có xét đến ảnh hưởng của hiệu ứng khuếch tán xoáy trong không gian. Các mô hình toán xây dựng được trong chương này là cơ sở lý thuyết quan trọng để nghiên cứu giải quyết các vấn đề khoa học của LA.

## Chương 3. NGHIÊN CỨU KIỂM CHỨNG CÁC MÔ HÌNH TOÁN

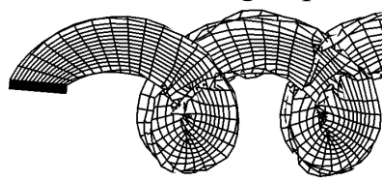
Dựa trên cơ sở lý thuyết các mô hình toán đã xây dựng trong chương 2, trong chương này tác giả LA tạo ra công cụ tính toán là bộ chương trình tính toán đặc trưng khí động lực CQTT viết trên nền tảng phần mềm Matlab 2016 theo sơ đồ thuật toán hình 3.4. Bộ chương trình tính toán này được áp dụng trực tiếp với các bài toán cụ thể để thực hiện kiểm chứng các mô hình toán.

### 3.3. Nghiên cứu kiểm chứng mô hình xoáy cánh quay

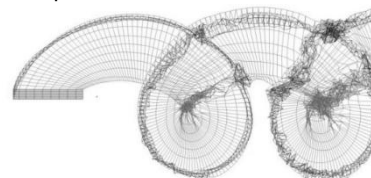
Để kiểm chứng mô hình xoáy CQ đã xây dựng, tác giả LA sử dụng các mô hình CQ đã được công bố trên các tạp chí khoa học uy tín để làm mẫu so sánh, kiểm chứng. Các mẫu mô hình CQ dùng để kiểm chứng đa dạng (số lượng LCQ, kích thước LCQ, tốc độ quay...) và khác nhau về điều kiện hoạt động (bay treo, bay hành tiến...).

#### 3.3.1. Kiểm chứng với mô hình CQ của Kritsky B.S

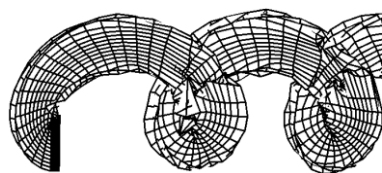
Kritsky B.S [78] xây dựng mô hình cánh quay có một lá cánh bằng phương pháp xoáy rời rạc, khảo sát làm việc CQ trong 2 chế độ, chế độ bay treo ( $U_0=0$ ) và trường hợp bay hành tiến với tốc độ bay  $U_0=11.5$  [m/s]. Kết quả trích xuất chủ yếu được lấy tại 2 vị trí của LCQ ở các góc phương vị  $\psi=180^\circ$  và  $\psi=270^\circ$ .



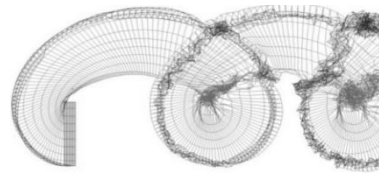
a/  $\psi=180^\circ$ ,  $\mu=0.262$ , LA



b/  $\psi=180^\circ$ ,  $\mu=0.262$ , Kritsky B.S [78]



c/  $\psi=270^\circ$ ,  $\mu=0.262$ , LA



d/  $\psi=270^\circ$ ,  $\mu=0.262$ , Kritsky B.S [78]

Hình 3.7. Màn xoáy sau CQ từ mô hình xoáy CQ của LA và của Kritsky B.S

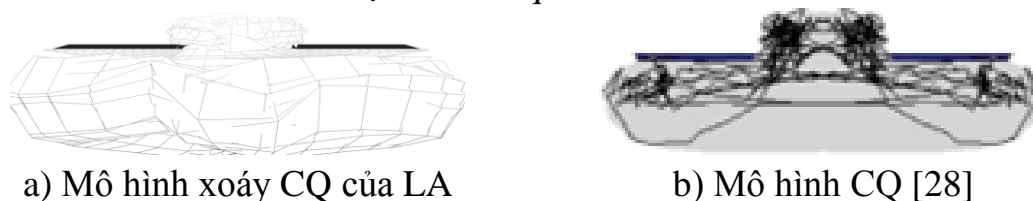
Hình ảnh màn xoáy sau LCQ ở các vị trí góc phương vị là  $\psi=180^0$  (hình 3.7-a,b) và  $\psi=270^0$  (hình 3.7-c,d) tính từ mô hình xoáy CQ của LA và của Kritsky B.S [78]. Theo đó màn xoáy thu được sau CQ từ mô hình của LA khá tương đồng với hình ảnh màn xoáy từ mô hình của Kritsky B.S khi áp dụng cùng một bộ tham số đầu vào.

### 3.3.2. Kiểm chứng với mô hình CQ của Moshar P.I [87] và Volodko A.M [67]

Áp dụng cùng một bộ số liệu tham số hình học và điều kiện hoạt động của CQ trong công trình của Moshar P.I và Volodko A.M cho mô hình xoáy CQ của LA. Kết quả tính toán giá trị lực kéo đạt được từ mô hình xoáy CQ của LA so sánh với các số liệu lấy từ các công trình của Moshar P.I [87] và Volodko A.M [67] thể hiện qua các đồ thị trên hình 3.12. Các giá trị hệ số lực kéo trung bình theo các góc lắp khác nhau tính toán được từ các mô hình rất tương đồng về giá trị và qui luật biến đổi.

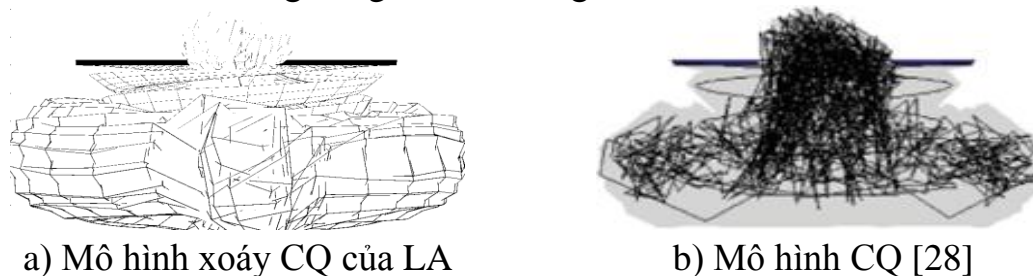
### 3.3.3. Kiểm chứng với mô hình CQ của Juan D. Colmenares

Trong công trình [28] công bố năm 2015, Juan D. Colmenares xây dựng mô hình cánh quay bằng phương pháp XRR không dừng. Mô hình CQ của Juan D. Colmenares có 2 LCQ, hoạt động ở chế độ bay treo. Áp dụng tính toán với mô hình CQ của LA và của Juan D. Colmenares thu được các kết quả:



Hình 3.13. Mô phỏng màn xoáy CQ sau 3 vòng quay, góc lắp LCQ=12<sup>0</sup>

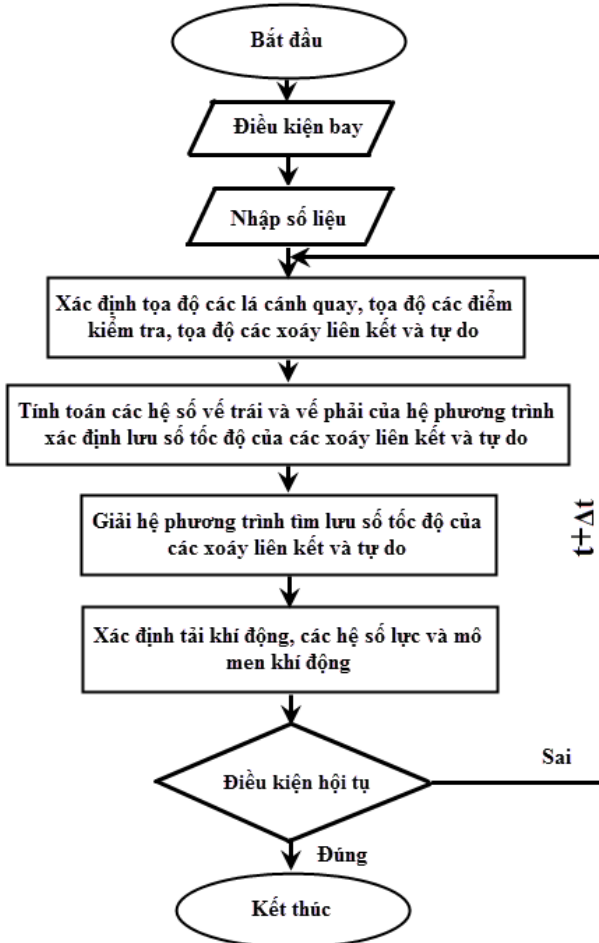
Hình 3.13 và 3.14 thể hiện màn xoáy CQ sau khi quay được 3 vòng (hình 3.13) và 6 vòng (hình 3.14). Ở cùng một điều kiện đầu vào, các màn xoáy mô phỏng được từ các mô hình có sự tương đồng về hình dạng và kích thước.



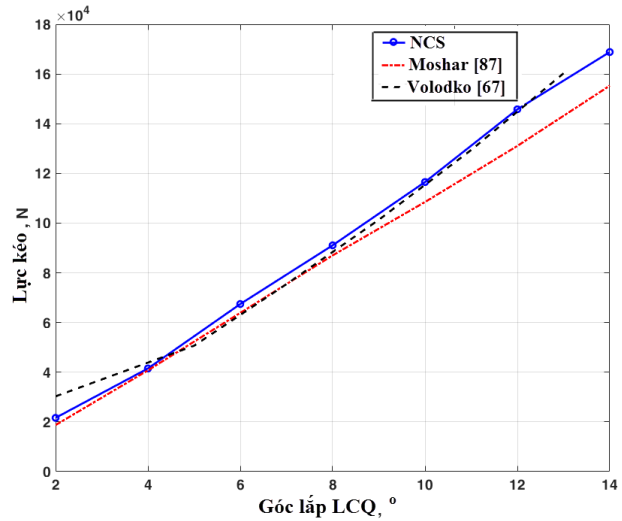
Hình 3.14. Mô phỏng màn xoáy CQ sau 6 vòng quay, góc lắp LCQ=12<sup>0</sup>

Quá trình biến thiên hệ số lực kéo CQ được thể hiện như trên hình 3.15 ở các trường hợp góc lắp LCQ khác nhau. Kết quả được lấy tại thời điểm CQ quay được 6 vòng quay. Hệ số lực kéo tính toán bằng mô hình xoáy CQ của LA và mô hình CQ của

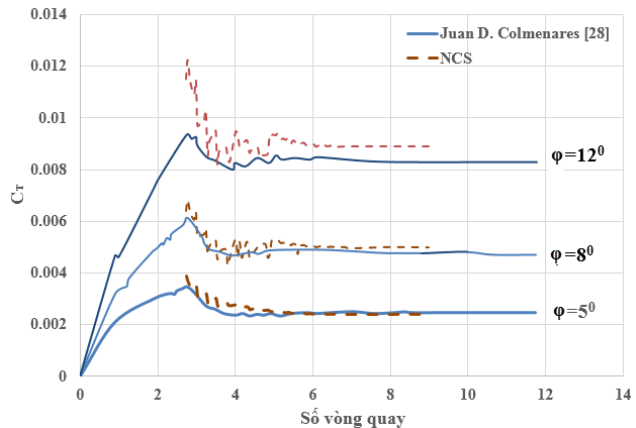
Juan D. Colmenares ở các góc lắp LCQ  $5^{\circ}$ ,  $8^{\circ}$  và  $12^{\circ}$  cùng hội tụ về các giá trị gần nhau. Sai lệch hệ số lực kéo lớn nhất giữa hai mô hình ở góc lắp LCQ  $12^{\circ}$  là 8.5%, nằm trong giới hạn cho phép.



Hình 3.4. Sơ đồ thuật toán xác định các đặc trưng khí động CQ



Hình 3.12. Lực kéo CQTT theo góc lắp LCQ trong chế độ bay treo



Hình 3.15. Biến thiên hệ số lực kéo với các góc lắp LCQ khác nhau

### 3.4. Kiểm chứng mô hình xoáy CQ – Thân

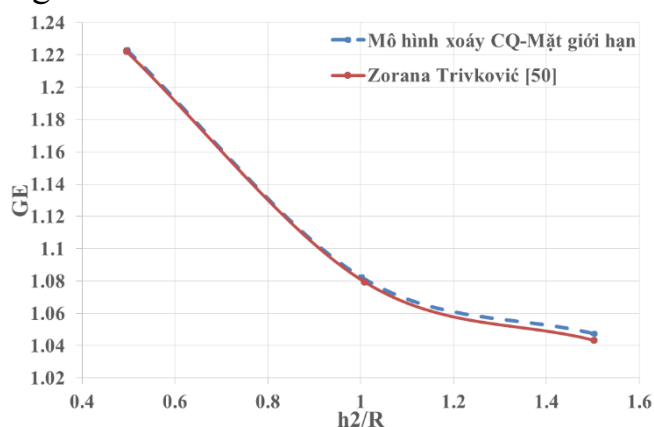
Mô hình xoáy CQ – Thân TT được phát triển trên cơ sở mô hình xoáy CQ, là mô hình xét tương tác khí động bằng phương pháp xoáy, chưa có mô hình tương tự đã công bố để so sánh trực tiếp. Do vậy ở đây tác giả LA sử dụng phương pháp “so sánh kép” để tiến hành kiểm chứng mô hình xoáy CQ – Thân theo 2 bước sau:

#### 3.4.1. Bước 1: Kiểm chứng mô hình xoáy CQ – Mặt giới hạn

Mô hình toán của hệ CQ – Mặt giới hạn xây dựng trong chương 2 có cách tiếp cận tương tự mô hình toán của hệ CQ – Thân TT. Mặt giới hạn trong mô hình xoáy CQ – Mặt giới hạn được thay thế bởi các khung xoáy liên kết. Khoảng cách  $h_2$  từ mặt phẳng

CQ tới mặt giới hạn lần lượt là  $0.5R$ ,  $R$  và  $1.5R$ . Gọi  $GE$  là tỉ số tăng hệ số lực kéo giữa trường hợp TT khi có hiệu ứng mặt đất (IGE) và không có hiệu ứng mặt đất (OGE),  $GE = C_{TIGE} / C_{TOGE}$ . Ứng với dải khoảng cách  $h_2 = 0.5R$ ,  $h_2 = R$  và  $h_2 = 1.5R$  kết quả tính toán cho các giá trị  $GE = 1.22$ ,  $GE = 1.082$  và  $GE = 1.047$ , hình 3.17.

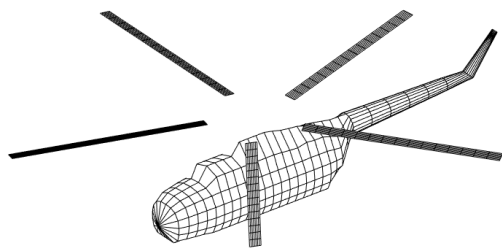
Cùng điều kiện đầu vào tính toán của CQ, so sánh kết quả của mô hình xoáy CQ – Mặt giới hạn với kết quả từ mô hình toán trong công trình của Zorana Trivković [50] (hình 3.17) cho thấy sự tương đồng giữa hai mô hình. Điều này cho thấy kết quả tính toán từ mô hình xoáy CQ – Mặt giới hạn có độ tin cậy và độ chính xác cao. Đây là cơ sở khoa học quan trọng kết luận về tính đúng đắn của cách tiếp cận xây dựng mô hình xoáy CQ – Thân ở chương 2.



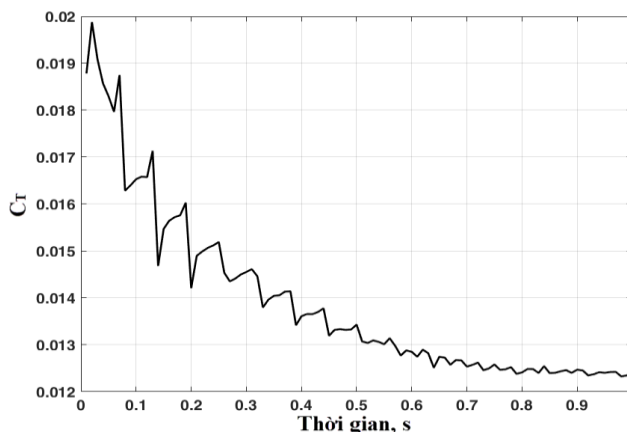
Hình 3.17. Đồ thị sự phụ thuộc của  $GE$  và khoảng cách  $h_2/R$

### 3.4.2. Bước 2: So sánh mô hình xoáy CQ – Thân với mô hình CFD

**Mô hình xoáy CQ – Thân:** Các kích thước hình học và tham số làm việc của mô hình CQ – Thân được lấy dựa trên cơ sở các số liệu trong bảng 3.6, hình 3.18. Thân TT có hình dạng giọt nước phổ biến của nhiều loại TT hiện nay, bề mặt thân TT được thay thế bởi các khung xoáy tứ giác.



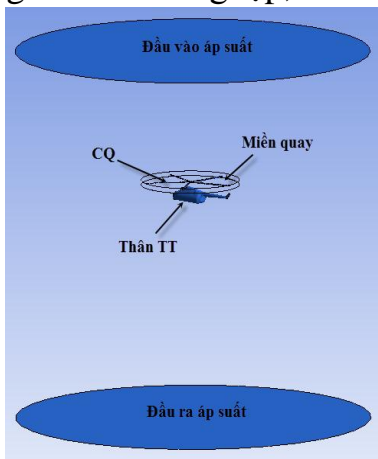
Hình 3.18. Mô hình CQ – Thân



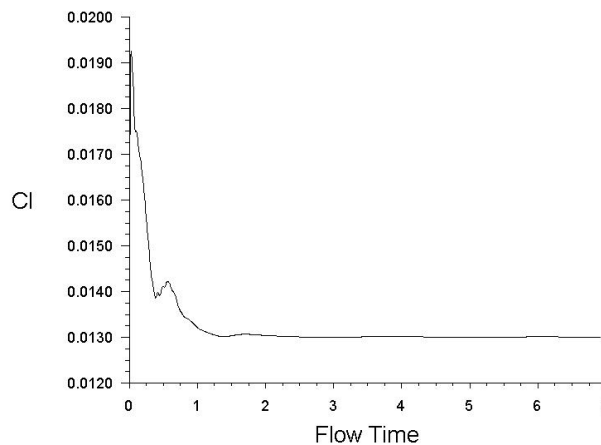
Hình 3.23. Biến thiên hệ số lực kéo CQ trong mô hình xoáy CQ – Thân

Sau khi thiết lập các điều kiện bay vào chương trình tính toán viết theo mô hình xoáy CQ – Thân, thu được các kết quả mô phỏng các đặc trưng khí động của CQTT có xét đến ảnh hưởng cảm ứng từ thân TT. Biến thiên hệ số lực kéo CQ trong mô hình xoáy CQ – Thân được thể hiện trên đồ thị của hình 3.23.

**Mô hình CQ – Thân trong Ansys-Fluent:** Ở đây sử dụng phương pháp CFD xây dựng mô hình mô phỏng hệ liên hợp CQ - Thân bằng phần mềm Ansys - Fluent như một cách tính khác để so sánh, kiểm chứng. Mô hình CQ và Thân TT xây dựng bằng phương pháp CFD có kích thước hình học tương đồng với mô hình xoáy CQ - Thân TT. Quá trình thiết lập điều kiện và chia lưới mô hình được trình bày cụ thể trong LA. Sau gần 3000 vòng lặp, bài toán hội tụ (hình 3.32).



Hình 3.24. Điều kiện biên



Hình 3.32. Biến thiên hệ số lực nâng trong mô hình CQ – Thân

Hình 3.32 thể hiện sự biến thiên của hệ số lực kéo CQ trong mô hình CQ - Thân TT tính bằng phần mềm Ansys Fluent, theo đó hệ số lực nâng theo bước tính toán hội tụ về giá trị 0.013. Từ kết quả tính toán với mô hình xoáy CQ – Thân như trên hình 3.23, hệ số lực kéo CQ hội tụ về giá trị 0.0123. Đối chiếu các kết quả, cho thấy sai khác về giá trị tính toán hệ số lực kéo CQ bằng 2 phương pháp khác nhau (XRR và CFD) tương đối nhỏ, khoảng 5.7%.

Bằng hai phương pháp khác nhau (XRR và CFD) cùng tính toán mô hình CQ – Thân TT đã cho thấy sự phù hợp và tương đồng về kết quả. Tuy nhiên thời gian tính toán và tốc độ hội tụ lại khác nhau. Trong mô hình CQ – Thân TT/Ansys Fluent, sau thời gian tính toán 3s, tương ứng với 8 vòng quay, đồ thị hệ số lực kéo bắt đầu hội tụ (hình 3.32). Trong mô hình xoáy CQ – Thân TT bằng phương pháp XRR, sau thời gian tính toán 1s, tương ứng khoảng 3 vòng quay, đồ thị hệ số lực kéo CQ bắt đầu hội tụ (hình 3.23). Như vậy mô hình xoáy CQ – Thân xây dựng bằng phương pháp XRR có



thời gian tính toán ngắn, cho ra kết quả nhanh hơn so với mô hình xây dựng bằng phần mềm Ansys Fluent.

### **Kết luận chương 3**

Trên cơ sở nghiên cứu phân tích các phương pháp kiểm chứng kết quả được sử dụng nhiều trên thế giới, trong LA đã lựa chọn áp dụng phương pháp kiểm chứng cho các mô hình xoáy CQ và mô hình xoáy CQ – Thân một cách phù hợp; Kết quả tính toán từ các mô hình xoáy với nhiều trường hợp tính toán cụ thể thể hiện sự tương đồng với các kết quả công bố trong công trình của các tác giả nước ngoài. Qua đó chứng minh các mô hình toán xây dựng trong LA có tính đúng đắn, đảm bảo độ chính xác và tin cậy, có thể sử dụng như một công cụ tính toán khảo sát hiệu quả.

## **Chương 4. TÍNH TOÁN CÁC ĐẶC TRƯNG KHÍ ĐỘNG LỰC CỦA CQ XÉT ĐẾN SỰ ẢNH HƯỞNG CỦA THÂN TT VÀ MGH**

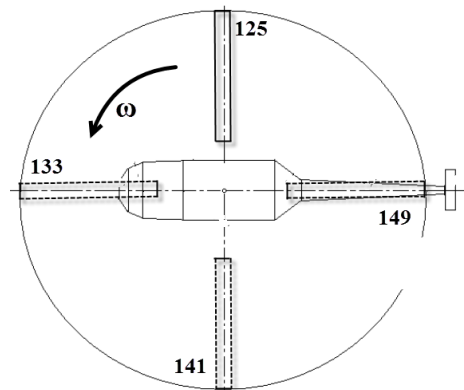
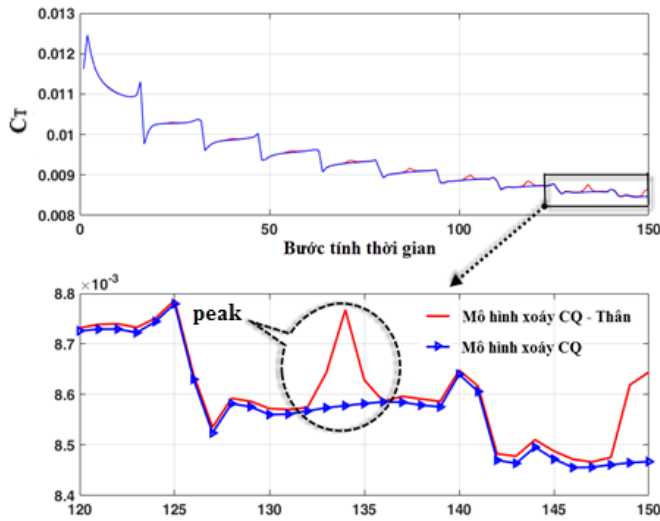
### **4.1. Tính toán ĐTKĐ của CQ ở các chế độ bay khác nhau**

Mô hình CQ và thân TT được lấy kích thước tương tự trong bảng 3.5. Ở các chế độ bay khảo sát, kết quả tính toán được trích xuất ở bước tính thứ 150, khi CQTT quay được 4.8 vòng quay và đồ thị hệ số lực kéo có độ hội tụ tốt. Khoảng cách tương đối giữa CQ và Thân TT  $\bar{h} = 0.35$  ( $\bar{h} = h/R$ , hình 2.20), góc lắp LCQ  $\varphi_0 = 12^\circ$ .

Hệ số lực kéo tính toán trong mô hình xoáy CQ và mô hình xoáy CQ – Thân TT ở chế độ treo thể hiện trong hình 4.2 cho thấy sự sai khác về hệ số lực kéo ở chế độ bay treo giữa các mô hình xoáy. Khi có thân trong mô hình tính toán, đồ thị hệ số lực kéo trong mô hình xoáy CQ – Thân TT xuất hiện các “Peak” giá trị tương đối đáng kể. Ở chế độ bay treo, sau khoảng 4 vòng quay, đồ thị hệ số lực kéo tính toán ở cả hai mô hình đạt sự hội tụ tốt. Và từ vòng quay thứ 5 khi CQ đã hoạt động ổn lập, trong một vòng quay sai lệch giữa giá trị lớn nhất và nhỏ nhất chỉ khoảng 2.3%. Tuy nhiên ở mô hình xoáy CQ – Thân TT, do sự có mặt của thân TT mà sai lệch giữa giá trị lớn nhất với giá trị nhỏ nhất của hệ số lực kéo là 3.5%.

Vòng quay thứ 5 bắt đầu từ bước tính thứ 125, và cứ sau 8 bước tính, LCQ có các vị trí tương ứng như thể hiện trên hình 4.3. Ứng với mỗi vị trí LCQ trong vòng quay thứ 5 như trên hình 4.3, thu được đồ thị phân bố hệ số lực pháp tuyến trên mỗi LCQ của cả 2 mô hình toán như thể hiện ở hình 4.4. Tại 2 vị trí ứng với các bước tính thứ 125, 141, đồ thị hệ số lực pháp tuyến trên LCQ thứ nhất trong cả 2 mô hình xoáy CQ

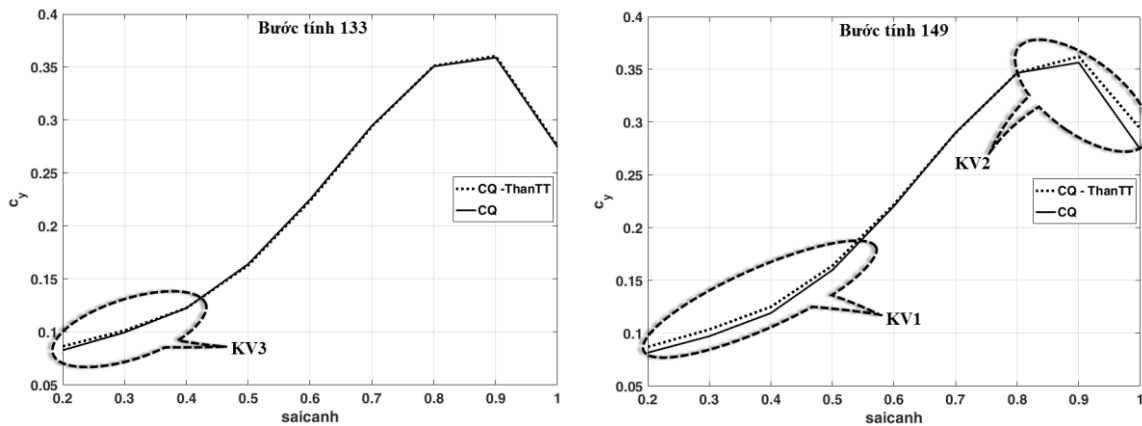
và xoáy CQ – Thân TT gần như trùng lặp hoàn toàn, không có sự sai lệch. Tại vị trí LCQ ứng với bước tính thứ 133, khi LCQ đi qua phần đầu phía trước thân TT, phát hiện có sự sai lệch nhỏ hệ số lực pháp tuyến giữa 2 mô hình xoáy CQ và xoáy CQ – Thân TT (khu vực 3/KV3, hình 4.4). Sự sai lệch nằm ở phần góc LCQ quét qua phần đầu thân TT. Trong khi đó ở bước tính thứ 149, khi mà LCQ quét qua phần đuôi thân TT, quan sát thấy có sự sai lệch rõ rệt hệ số lực pháp tuyến trên LCQ giữa 2 mô hình tính toán. Sự sai lệch này tập trung tại khu vực 1 (KV1, hình 4.4) và khu vực 2 (KV2, hình 4.4), tức là phần đầu mút và phần góc lá cánh.



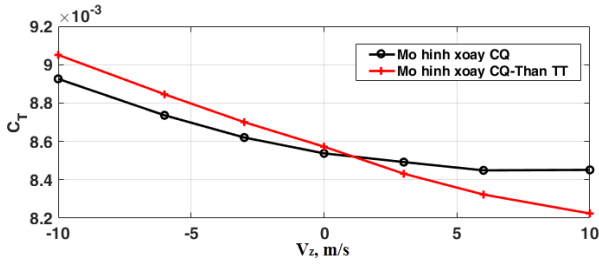
Hình 4.2. Biến thiên hệ số lực kéo theo thời gian, TT hoạt động ở chế độ bay treo

Hình 4.3. Vị trí LCQ ứng với số bước tính toán trong vòng quay thứ 5

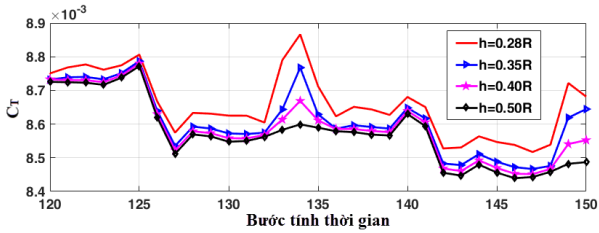
Tính toán hệ số lực kéo của cánh quay theo hai mô hình xoáy CQ và mô hình xoáy CQ – Thân TT trong chế độ thổi đứng với các vận tốc  $V_z$  khác nhau, ta thu được đồ thị như trên hình 4.7.



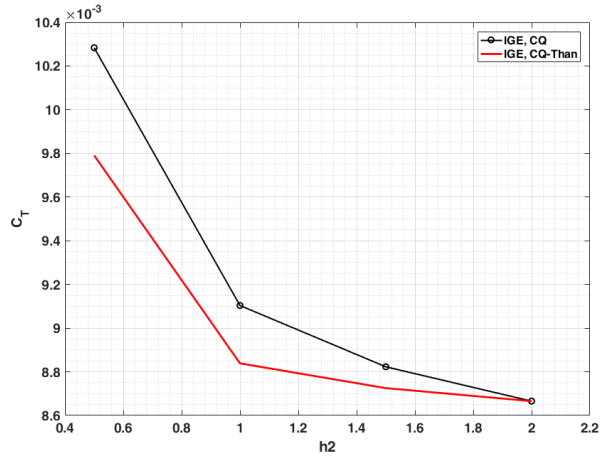
Hình 4.4. Phân bố hệ số lực pháp tuyến trên LCQ theo sải lá cánh theo các bước tính trong một vòng quay



Hình 4.7. Hệ số lực kéo trung bình của CQTT theo  $V_z$  ở chế độ thổi đứng



Hình 4.9. Biến thiên hệ số lực kéo ở các khoảng cách  $h$  khác nhau



Hình 4.14. Hệ số lực kéo trung bình từ mô hình CQ không có thân TT và mô hình CQ có thân TT ở điều kiện có hiệu ứng mặt đất

Từ kết quả cho thấy rằng khi TT chuyển động trong chế độ thổi đứng, quy luật biến thiên của hệ số lực kéo trung bình tính toán được ở cả hai mô hình xoáy CQ và mô hình xoáy CQ – Thân TT tương đối tương đồng nhau. Cụ thể, khi TT bay lên thẳng đứng, hệ số lực kéo trung bình giảm theo chiều tăng của giá trị vận tốc chuyển động ( $V_z$ ). Khi TT bay xuống thẳng đứng, hệ số lực kéo trung bình tăng lên theo chiều tăng của giá trị vận tốc chuyển động. Điều này phù hợp với nhận xét từ nhiều công trình nghiên cứu khí động lực học TT trên thế giới [63],[88]. Tuy nhiên, kết quả tính toán cũng đã bộc lộ rõ ảnh hưởng của thân lên đặc tính nâng của CQ, ảnh hưởng này càng lớn khi tốc độ chuyển động lên xuống càng tăng. Điều này có ý nghĩa thực tiễn rất lớn trong trường hợp TT hạ cánh khẩn cấp ở chế độ tự quay/ autorotation). Cụ thể, trong mô hình xoáy CQ – Thân TT, hệ số lực kéo trung bình giảm nhanh hơn khi TT bay lên thẳng đứng và tăng nhanh hơn khi TT bay xuống thẳng đứng.



a) mô hình xoáy CQ



b) mô hình xoáy CQ - Thân

Hình 4.8. Cấu trúc màn xoáy khi TT bay lên thẳng đứng với  $v_z = 10$  m/s

Trên các hình 4.8 mô phỏng cấu trúc màn xoáy trong các mô hình xoáy CQ và mô hình xoáy CQ - Thân TT. Do không có vật cản phía sau cho nên trong mô hình xoáy CQ (không có thân TT), màn xoáy tự do phát triển xuống dưới nhanh hơn. Ở cả

hai mô hình đều quan sát thấy cuộn xoáy hình thành phía gốc cánh (ở trung tâm CQ) tuy nhiên kích thước cuộn xoáy trong các mô hình có sự khác nhau. Theo đó ở mô hình xoáy CQ – Thân cuộn xoáy gốc cánh có kích cỡ nhỏ hơn, đồng nghĩa tốc độ cảm ứng khu vực gốc cánh nhỏ hơn. Đây là hiệu ứng cho thấy sự khác biệt của mô hình xoáy CQ có thân TT và mô hình xoáy không có thân TT.

#### **4.2. Tính toán ảnh hưởng của khoảng cách tương đối giữa CQ và Thân TT đến ĐTKĐ của CQ**

Trong mô hình xoáy CQ – thân TT, vị trí tương đối giữa CQ và Thân TT được đặc trưng bởi khoảng cách không thứ nguyên  $\bar{h} = h / R$ . Tính toán ĐTKĐ của TT ở chế độ bay treo thu được đồ thị biến thiên hệ số lực kéo với các khoảng cách  $h$  khác nhau như thể hiện trên hình 4.9. Kết quả tính toán cho thấy khi  $h$  càng nhỏ (Thân TT gần CQ), hệ số lực kéo CQ đạt được càng lớn, tức là tác động cảm ứng của Thân TT lên ĐTKĐ CQ càng lớn. Ngược lại, khi  $h$  lớn (Thân TT cách xa CQ), ảnh hưởng cảm ứng của Thân lên CQ giảm dần và gần như không còn ảnh hưởng khi  $h > 0.5R$ .

#### **4.3. Xác định ĐTKĐ của CQ xét đến ảnh hưởng của thân TT trong điều kiện có tương tác với mặt giới hạn**

Khi TT thực hành hạ cánh, tùy theo tính chất, kích thước và hình dạng địa hình nơi hạ cánh mà hiện tượng hiệu ứng mặt đất có những ảnh hưởng khác nhau tới ĐTKĐ của TT. Diện tích khu vực hạ cánh to hay nhỏ, bề mặt địa hình khu vực hạ cánh phẳng hay lồi, lõm sẽ gây ra mức độ ảnh hưởng khác nhau lên đặc tính khí động của CQ. Kết quả tính toán khảo sát các trường hợp cụ thể được trình bày trong các phần dưới đây.

##### **4.3.1. Xác định ảnh hưởng của khoảng cách hạ cánh đến ĐTKĐ của CQ**

Mô hình tính toán được xây dựng trong điều kiện TT thực hành hạ cánh trên bề mặt bãi đỗ (MGH) có diện tích  $S_{mgh} = 2R \times 2R$ . Trường hợp này thường gặp khi TT hạ cánh trên boong tàu, trên nóc nhà cao tầng hay trên giàn khoan. Mô tả các mặt giới hạn bằng các khung xoáy tứ giác, đưa chúng vào mô hình toán và tính toán được sự tương tác giữa các hệ xoáy trong mô hình tổng thể. Cụ thể quá trình thiết lập bài toán và các kết quả tính toán thu được như sau:

Khoảng cách  $h_2$  từ mặt phẳng CQ xuống bề mặt MGH nhận các giá trị lần lượt là  $0.5R$ ,  $R$  và  $1.5R$ . Kí hiệu OGE/Out of ground effect thể hiện trường hợp TT hoạt động ngoài vùng có hiệu ứng mặt đất ( $h_2 > 2R$ ). Kí hiệu IGE/In ground effect thể hiện trường hợp TT hoạt động trong điều kiện có hiệu ứng mặt đất ( $h_2 = 0.5R$ ;  $h_2 = R$ ;  $h_2 = 1.5R$ ). Kết

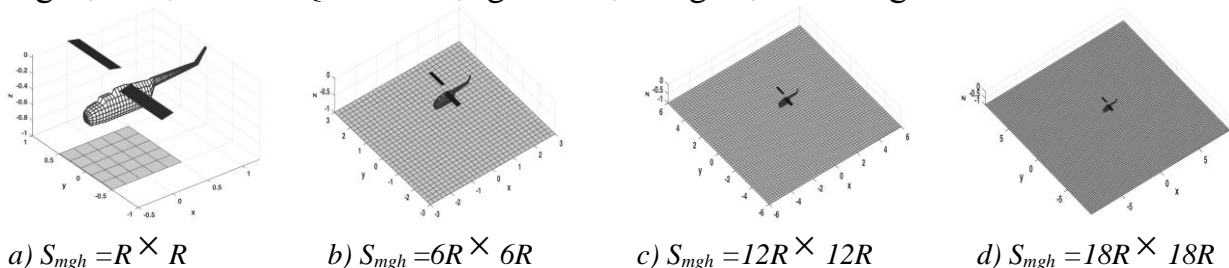
quả cho thấy ở tất cả trường hợp  $h_2$ , sự có mặt thân TT trong mô hình làm giảm ảnh hưởng của hiện tượng hiệu ứng mặt đất. Mức độ giảm phụ thuộc vào khoảng cách  $h_2$  từ mặt phẳng CQ đến mặt giới hạn.

Ở cả mô hình xoáy CQ – Mặt giới hạn (không có thân TT) và mô hình xoáy CQ – Thân – Mặt giới hạn (có thân TT), hệ số lực kéo CQ tăng khi khoảng cách  $h_2$  giảm dần. Mức tăng hệ số lực kéo CQ trong mô hình xoáy CQ – Thân – Mặt giới hạn (có thân TT) nhỏ hơn mức tăng hệ số lực kéo CQ trong mô hình xoáy CQ – Mặt giới hạn (không có thân TT) từ 1÷5% tùy thuộc giá trị khoảng cách  $h_2$  (hình 4.14).

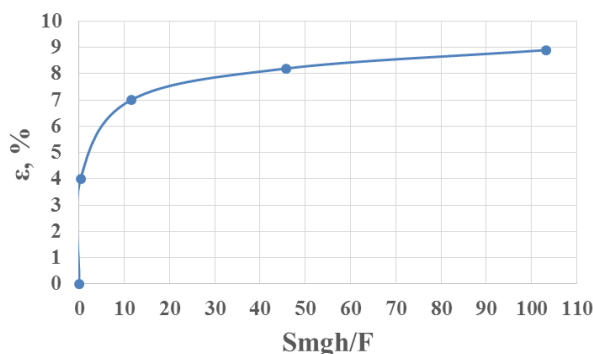
### 4.3.2. Khảo sát ảnh hưởng của diện tích mặt giới hạn

Khi TT thực hành hạ cánh, diện tích bãi đỗ có ảnh hưởng nhất định đối với ĐTKĐ của TT. Bãi đỗ có diện tích nhỏ hẹp (giàn khoan, boong tàu, nóc nhà cao tầng...) sẽ có tác động khác với bãi đỗ có bề mặt rộng. Trong mục này sẽ trình bày các kết quả tính toán làm rõ các tác động khác biệt giữa các mặt giới hạn có diện tích khác nhau đó. Mô hình MGH trong bài toán có dạng mặt phẳng và có khoảng cách  $h_2$  từ MGH đến mặt phẳng quay được lấy cố định,  $h_2=R$ . Các MGH dùng trong khảo sát có kích thước khác nhau:  $S_{mgh} = R \times R$ ,  $S_{mgh} = 6R \times 6R$ ,  $S_{mgh} = 12R \times 12R$  và  $S_{mgh} = 18R \times 18R$  (hình 4.15). TT hoạt động ở chế độ bay treo và TT nằm ở vị trí trung tâm phía trên MGH.

Hệ số lực kéo CQ với các kích thước MGH khác nhau có các giá trị trung bình khác nhau. Ứng với các kích thước MGH như trên hình 4.15-a, 4.15-b, 4.15-c và 4.15-d, hệ số lực kéo hội tụ về các giá trị trung bình lần lượt là 0.0088, 0.0091, 0.0092, 0.0093. Ở trên trường hợp không có hiệu ứng mặt đất (OGE), hệ số lực kéo trung bình của CQTT đạt giá trị  $C_{IOGE}=0.0085$ . Trong điều kiện có hiệu ứng mặt đất (IGE), hệ số lực nâng của CQ tăng lên đáng kể, tuy nhiên mức tăng này còn phụ thuộc vào kích thước của mặt giới hạn. Gọi  $\varepsilon$  (%) là mức tăng hệ số lực kéo của CQ khi có hiệu ứng mặt đất. Tương quan tỉ lệ  $S_{mgh}/F$  và mức tăng hệ số lực kéo  $\varepsilon$  được thể hiện như trên hình 4.17. Đồ thị trên hình 4.17 cho thấy khi diện tích mặt giới hạn càng lớn thì mức tăng hệ số lực kéo CQ do tác động của hiệu ứng mặt đất càng lớn.



Hình 4.15. Mô hình khảo sát tham số diện tích mặt giới hạn

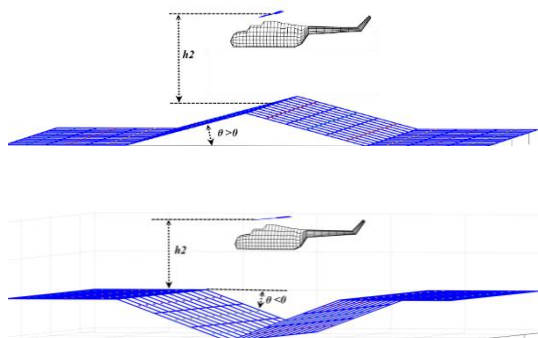


Hình 4.17. Mức tăng hệ số lực kéo CQ theo diện tích mặt giới hạn

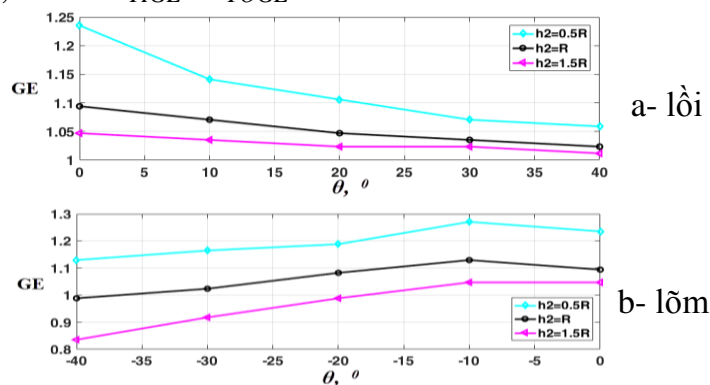
Các tính toán khảo sát trong mục này còn có nhiều ý nghĩa quan trọng trong việc khai thác sử dụng và điều khiển TT khi cất hạ cánh tại khu vực giàn khoan, trên tàu chiến, hay trên nóc các nhà cao tầng.

#### 4.3.3. Khảo sát ảnh hưởng của hình dạng mặt giới hạn

Trong thực tiễn hoạt động chấp hành nhiệm vụ, ở rất nhiều trường hợp TT không có điều kiện để hạ cánh xuống địa hình có bề mặt bằng phẳng. Khi làm nhiệm vụ cứu nạn trong vùng đồi núi, địa hình gồ ghề, lồi lõm hoặc có các mặt nghiêng của sườn núi sẽ tác động mạnh tới khả năng tạo lực nâng của CQTT, qua đó ảnh hưởng trực tiếp tới tính điều khiển của TT. Độ nghiêng, độ dốc của sườn núi hay của địa hình khác nhau sẽ có các tác động khác nhau tới TT. Bài toán trong mục này sẽ tập trung tính toán và làm rõ mức độ ảnh hưởng của góc nghiêng địa hình tới sự hình thành lực kéo của CQTT. GE là tỉ số tăng hệ số lực kéo giữa trường hợp TT chịu ảnh hưởng và không chịu ảnh hưởng của hiệu ứng mặt đất,  $GE = C_{TIGE} / C_{TOGE}$ .



Hình 4.18. Các hình dạng khác nhau của MGH



Hình 4.20. Đồ thị phụ thuộc của tỉ số tăng hệ số lực kéo GE và góc nghiêng  $\theta$

Sau khi thiết lập các tham số tính toán và điều kiện bay của TT, biến thiên hệ số lực kéo của CQTT khi bay treo gần các MGH có hình dạng lồi, lõm, với các góc nghiêng khác nhau được thể hiện như trên hình 4.20.

Từ đồ thị trên hình 4.20, nhận thấy đối với trường hợp MGH lồi, mặc dù hiệu ứng

mặt đất giảm dần (GE giảm) khi tăng góc nghiêng MGH  $\theta$ , tuy nhiên luôn tồn tại hiệu ứng mặt đất (GE luôn lớn hơn 1) kể cả khi góc  $\theta$  có giá trị tương đối lớn. Điều này đúng với các khoảng cách  $h_2$  khác nhau, hình 4.20 –a.

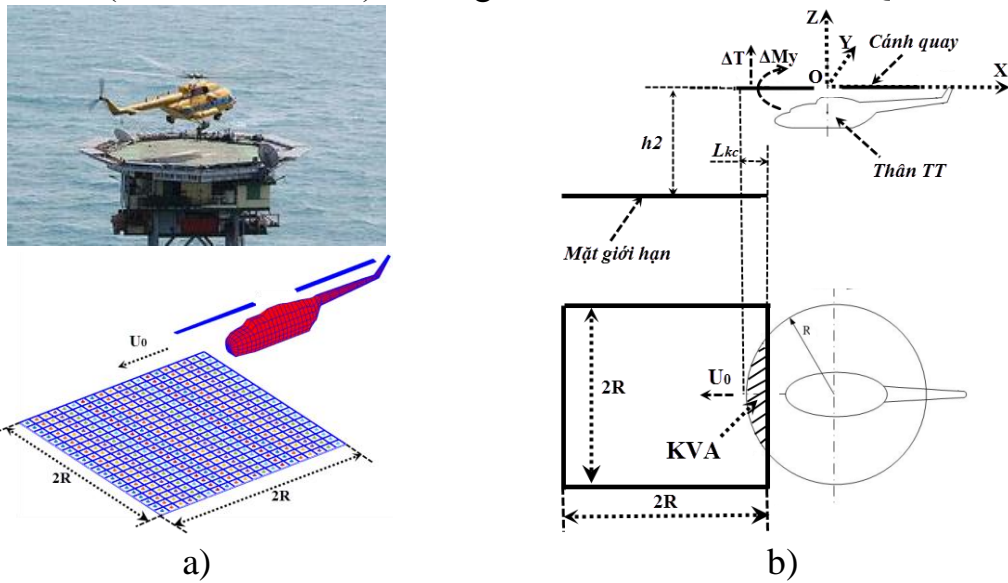
Trong trường hợp MGH có hình dạng lõm, khi góc nghiêng MGH nhỏ ( $\theta < -10^\circ$ ), hiệu ứng mặt đất có xu hướng tăng lên. Tuy nhiên khi tăng dần góc nghiêng MGH, hiệu ứng mặt đất giảm dần. Đặc biệt khi góc nghiêng MGH có giá trị lớn ( $\theta = -30^\circ, -40^\circ$ ), và TT bay ở khoảng cách  $h_2 = R \div 2R$ , hệ số lực kéo giảm mạnh, khoảng 10%. Kết quả này phù hợp với hiện tượng trong thực tế, khi TT bay trong thung lũng, có hai bên sườn dốc với góc nghiêng lớn, hoặc khi TT bay giữa các tòa nhà cao tầng, sẽ hình thành các cuộn xoáy cảm ứng, có xu hướng hút TT xuống dưới, làm giảm lực kéo tạo ra từ CQ. Kết quả tính toán trong mục này là cơ sở khoa học tin cậy để đưa ra các khuyến cáo bay khi TT hoạt động trong vùng đồi núi, thung lũng, đặc biệt khi TT bay qua các khe núi sâu, có độ nghiêng bề mặt lớn.

#### ***4.3.4. Xác định mô men chúc ngóc tác động lên trục của CQ khi TT hạ cánh hành tiến theo phương ngang***

Mô hình tính toán khảo sát được thể hiện trên hình 4.21. Mô hình mô phỏng quá trình TT hạ cánh trên boong tàu, trên nóc nhà cao tầng hoặc trên giàn khoan. TT chuyển động hành tiến theo phương ngang với tốc độ chậm  $U_0 = 5 \text{ m/s}$  tiếp cận bãi đỗ (bề mặt bãi đỗ được mô phỏng bởi MGH kích thước giới hạn, hình 4.15-a). Khoảng cách từ mặt phẳng CQ đến MGH được lấy  $h_2 = R$ . Khoảng cách từ mép bên phải của MGH và đầu mút phía trước mặt phẳng quay của CQ theo hướng chuyển động của TT được kí hiệu là  $L_{KC}$  (Hình 4.21-b,  $L_{KC} \geq 0$ ). Vùng diện tích của miền CQ bao trùm lên vùng MGH được ký hiệu là KVA (phần gạch chéo). Miền diện tích KVA có giá trị tăng dần theo chiều tăng của  $L_{KC}$ . Tính toán hệ số lực kéo CQ ứng với khoảng cách  $L_{KC}$  lần lượt là  $0, 0.5R, R, 1.5R$  và  $2R$ . Theo đó hệ số lực kéo trung bình  $C_{Ttb}$  tăng dần khi khoảng cách  $L_{KC}$  tăng, đồng nghĩa với việc diện tích miền KVA cũng tăng, hình 4.22 – a.

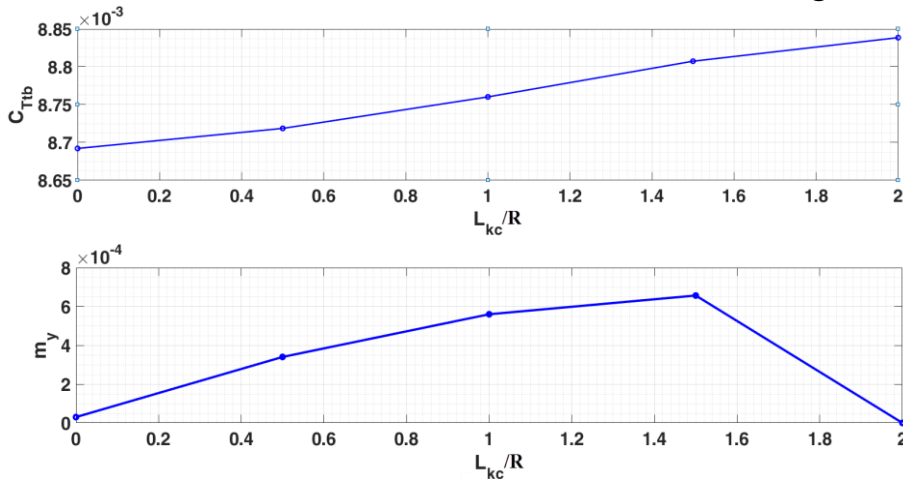
TT hạ cánh nằm trong vùng chịu ảnh hưởng của hiệu ứng mặt đất (ở đây  $h_2 = R$ ), cho nên lực kéo CQ được bổ sung một lượng lực kéo  $\Delta T$  ( $\Delta T$  thể hiện trên hình 4.21-b). Miền diện tích bao trùm KVA càng lớn thì dòng khí phản xạ từ MGH tác động lên CQ càng nhiều, và  $\Delta T$  bổ sung cho CQ càng lớn. Điều này cho thấy đại lượng  $\Delta T$  phân bố chủ yếu trên miền diện tích KVA.  $\Delta T$  có điểm đặt nằm lệch so với trục tọa độ ngang OY của CQ, làm xuất hiện mô men chúc ngóc  $\Delta M_y$  có xu hướng lật ngửa TT về phía

phải của MGH (theo hình 4.21-b) và tăng tải bền mỗi cho ổ trục CQ.



Hình 4.21. Mô hình khảo sát TT hạ cánh theo phương ngang

Trên cơ sở tính toán được biến thiên hệ số lực kéo trung bình  $C_{Ttb}$  của CQ theo khoảng cách  $L_{KC}$ , hệ số mô men chúc góc được xác định tương ứng như thể hiện trên hình 4.22-b. Qua đồ thị cho thấy hệ số mô men chúc góc đạt giá trị lớn nhất khi  $L_{KC}=1.5R$  và có giá trị 0 khi TT không nằm trong ảnh hưởng của hiệu ứng mặt đất ( $L_{KC}=0$ ) hoặc khi diện tích miền CQ nằm hoàn toàn bên trong khu vực hạ cánh.



a) Biến thiên hệ số lực kéo CQ

b) Biến thiên hệ số mô men chúc góc

Hình 4.22. Biến thiên ĐTKĐ CQ theo khoảng cách  $L_{KC}$

( $L_{KC}=2R$ ). Qua tính toán ở trên có thể đưa ra các khuyến cáo khi TT thực hiện hạ cánh trên các khu vực có bãi đỗ nhỏ hẹp (trên nóc các tòa nhà, trên giàn khoan hoặc trên boong tàu). Để loại bỏ được sự xuất hiện của mô men chúc góc gây mất an toàn cho TT, khi thực hành hạ cánh cần đưa TT bay cao trên khoảng cách lớn hơn  $2R$  so với mặt phẳng bãi đỗ (tránh hiệu ứng mặt đất), sau đó di chuyển vào tâm bãi đỗ và thực hiện hạ cánh thẳng đứng.



## Kết luận chương 4

Công cụ tính toán tạo ra trong LA có khả năng tính toán mô phỏng đặc trưng khí động CQ xét đến ảnh hưởng của thân ở nhiều chế độ, nhiều điều kiện hoạt động của TT. Việc có mặt thân TT trong mô hình xoáy CQ – Thân không tạo ra nhiều thay đổi của các ĐTKĐ CQ, nhưng làm xuất hiện các xung dao động của hệ số lực kéo có biên độ đáng kể. Các xung dao động của hệ số lực kéo CQ trong mô hình xoáy CQ – Thân chủ yếu xuất hiện khi LCQ quét qua khu vực đuôi thân TT và phân bố ở phần đầu mút và phần gốc lá cánh. Ảnh hưởng của thân TT lên khả năng tạo nâng của CQ thể hiện rõ hơn khi TT thực hiện chuyển động bay lên hoặc bay xuống thẳng đứng. Khoảng cách giữa thân TT và CQ càng gần thì ảnh hưởng cảm ứng của thân TT lên ĐTKĐ của CQ càng rõ hơn. Kết quả tính toán liên quan đến ảnh hưởng của mặt giới hạn và hiệu ứng mặt đất có ý nghĩa quan trọng trong hoạt động thực tiễn khai thác sử dụng và vận hành điều khiển TT.

## KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Từ những yêu cầu của hoạt động thực tiễn và trên cơ sở phân tích tính hình nghiên cứu khí động trực thăng trong và ngoài nước, LA đã chỉ ra những vấn đề còn tồn tại, những nội dung khoa học chưa được giải quyết, từ đó đề xuất hướng nghiên cứu, hướng giải quyết các vấn đề của LA. Mục đích đề ra của LA là xây dựng được mô hình toán xác định các đặc trưng khí động của cánh quay trực thăng xét đến ảnh hưởng của thân và mặt giới hạn. Khảo sát được các bài toán tương tác khí động giữa cánh quay và thân trực thăng trong nhiều chế độ khác nhau, nghiên cứu mô phỏng được sự biến đổi của các đặc tính khí động cánh quay khi xét đến tương quan vị trí giữa cánh quay, thân trực thăng và mặt giới hạn. Mặt giới hạn được mô phỏng trong LA có kích thước và hình dạng phức tạp, thể hiện được khả năng ứng dụng linh hoạt, đa dạng của các mô hình toán xây dựng trong LA đối với các bài toán trong thực tiễn. Qua nội dung và các kết quả đạt được trình bày trong các chương của LA, có thể khẳng định LA đã đạt được mục tiêu đề ra.

**Những đóng góp mới của LA:** Xây dựng mô hình toán phi tuyến không dùng xác định đặc trưng khí động của CQ xét đến ảnh hưởng của thân TT và MGH bằng phương pháp XRR, có phần tử xoáy hình tứ giác, có áp dụng mô hình khuếch tán xoáy, mô tả được quá trình khuếch tán của màn xoáy trong không gian, làm cho mô hình toán hoàn thiện hơn, gần thực tế hơn, mô tả được sự tương tác khí động giữa các thành phần

trong một hệ đa vật; Chương trình thuật toán trên cơ sở lý thuyết các mô hình toán là một bộ công cụ tính toán tin cậy, được kiểm chứng độ tin cậy ở nhiều trường hợp, có thể nghiên cứu, khảo sát nhiều bài toán khí động, đặc biệt là nghiên cứu tương tác hệ đa vật.

**Kiến nghị về hướng nghiên cứu tiếp theo:** Nghiên cứu về tương tác khí động giữa các CQ trong mô hình ô tô bay của tương lai; nghiên cứu tối ưu hình dạng khí động của thân ô tô bay khi hoạt động trong các dòng khí thổi từ nhiều CQ...Nghiên cứu khí động lực học các loại TT có tính cơ động cao, bay với tốc độ lớn. Khi đó mô hình CQ cần xét đến ảnh hưởng của tính nén, tính nhớt của dòng khí và các tổn thất tại đầu mút LCQ. Các vấn đề kể trên còn tồn tại, chưa có nhiều nghiên cứu, do vậy tác giả LA xác định đây sẽ là các hướng nghiên cứu tiếp theo sau khi LA được hoàn thành.

## DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ CỦA NCS

1. **Phạm Thành Đồng**, Nguyễn Anh Tuấn, Đặng Ngọc Thanh, Phạm Vũ Uy (2017), *Xây dựng mô hình tính toán các đặc trưng khí động của cánh quay trực thăng*, Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật - số 185 (8/2017) - Học viện KTQS, tr 70-80.
2. **Phạm Thành Đồng**, Đặng Ngọc Thanh, Phạm Vũ Uy (2017), *Nghiên cứu khảo sát ảnh hưởng của tính nhớt và tính nén môi trường đến đặc tính khí động của cánh quay trực thăng*. Hội nghị Cơ học toàn quốc lần thứ X, tập 2 - tháng 12/2017, tr 28-36.
3. **Phạm Thành Đồng**, Đặng Ngọc Thanh, Phạm Vũ Uy (2018), *Mô phỏng tương tác khí động của cánh quay và thân trực thăng*, Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật - số 192 (8/2018) - Học viện KTQS, tr 80-88.
4. **Pham Thanh Dong**, Nguyen Anh Tuan, Pham Vu Uy (2018), *An Approach to Study the Airflow over 3D Objects by the Vortex-lattice Method*, International Conference on Fluid Machinery and Automation Systems 2018 (ICFMAS2018)/ Ta Quang Buu Library - Hanoi University of Science and Technology (HUST) – 10/2018, page 164-171.
5. **Pham Thanh Dong**, Nguyen Anh Tuan, Dang Ngoc Thanh, Pham Vu Uy (2018), *Numerical Method to Study Helicopter Main Rotor-fuselage Aerodynamic Interaction*, International Conference on Fluid Machinery and Automation Systems 2018 (ICFMAS2018)/ Ta Quang Buu Library - Hanoi University of Science and Technology (HUST) – 10/2018, page 172-179.
6. **Phạm Thành Đồng**, Nguyễn Anh Tuấn, Đặng Ngọc Thanh, Phạm Vũ Uy, (2019), *Nghiên Cứu Ảnh Hưởng Của Địa Hình Đến Đặc Trưng Khí Động Của Trực Thăng Khi Hạ Cánh*. Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật - số 197 (4/2019) - Học viện KTQS, tr 71-79.