# MÔ PHỎNG CÂN BẰNG ĐỘNG CHO RÔ TO BẰNG PHẦN MỀM MÔ PHỎNG CÂN BẰNG ĐỘNG RÔ TO ĐẶT TRÊN MÁY CÂN BẰNG ĐỘNG

**Lưu Minh Hải[1], Đỗ Đức Lưu[2]**

**Tóm tắt:** *Phần mềm mô phỏng cân bằng động giúp đào tạo học viên cũng như các kỹ sư khai thác máy tàu thủy hiểu và có kỹ năng nghề thuần thục trước khi thực hiện cân bằng động rô to, đặc biệt đối với đào tạo đội ngũ sỹ quan cơ-điện cho Hải quân Việt Nam. Phần mềm mô phỏng dao động và cân bằng động được xây dựng tại Trường Đại học Hàng hải Việt Nam (ĐHHHVN) do Ban chủ nhiệm đề tài cấp quốc gia, MS. ĐTĐLCN14/15 xây dựng, Trường ĐHHHVN chủ trì. Phần mềm có thể được sử dụng đào tạo, huấn luyện học viên và sĩ quan cơ điện tàu quân sự. Bài báo đánh giá độ tin cậy của kết quả mô phỏng cân bằng động rô to khi thực hiện cân bằng được xem là quá trình ngẫu nhiên (có sai số) trên phần mềm mô phỏng cân bằng động rô to, áp dụng cho các chi tiết quan trọng trong động cơ tua bin khí tàu Hải quân. Kết quả thu được với độ tin cậy 99 % theo tiêu chuẩn thống kê schi ($\chi^2$) khẳng định tính chính xác và ý nghĩa đào tạo của sản phẩm.*

**Từ khóa**: Phần mềm mô phỏng cân bằng động; độ tin cậy của phần mềm mô phỏng.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Mất cân bằng thường diễn ra và rất nguy hiểm trên các máy rô to, đặc biệt đối với các rô to quay tốc độ cao như Tuabine khí (Gas Turbine Engine, GTE) dùng trên các tàu hải quân (HQ, có tốc độ trên 10000vòng/phút, RPM) trong quá trình động cơ hoạt động. Đối với các máy rô to, việc kiểm soát lượng mất cân bằng dư sau sửa chữa tháo rời là yêu cầu bắt buộc và được tiến hành cân bằng động (CBĐ) trên các máy CBĐ. Đối với GTE trên các tàu HQ của Việt Nam trước đây được sửa chữa từ các chuyên gia có tay nghề cao, tại các xưởng sửa chữa của nước ngoài. Hiện nay một số công đoạn lắp ráp GTE trên tàu đã do đội ngũ chuyên gia trong nước thực hiện, tuy nhiên việc CBĐ được thực hiện có sự giám sát chặt chẽ của các chuyên gia nước ngoài và thực hiện trên xưởng chuyên dùng. Việc chủ động, làm chủ công nghệ cùng với kinh nghiệm, kỹ năng tốt CBĐ cho các máy rô to là nhiệm vụ quan trọng đối với đội ngũ kỹ thuật của Hải quân Việt Nam, để đảm bảo tàu và lực lượng tàu đặc chủng luôn sẵn sàng chiến đấu. Chính vì vậy việc sử dụng phần mềm mô phỏng vào đào tạo, huấn luyện trong các cơ sở đào tạo, huấn luyện là quan trọng và hiệu quả, đặc biệt đối với ngành kỹ thuật Hải quân Việt Nam.

Một trong các sản phẩm của đề tài độc lập công nghệ cấp quốc gia, MS.DTDL.CN-14/15 do GS. Lương Công Nhớ làm chủ nhiệm (Lương Công Nhớ, nnk 2019) là mô đun mô phỏng dao động và CBĐ máy rô to, được các tác giả xây dựng trên cơ sở toán học và các phương pháp cân bằng động trên một và hai mặt phẳng; phương pháp ma trận các hệ số ảnh hưởng; phương pháp số phức,và triển khai lập trình trên LabView (Lương Công Nhớ, nnk 2019), (Đỗ Đức Lưu, nnk 2016), (Đỗ Đức Lưu, nnk 2015). Đưa sản phẩm mô phỏng vào đào tạo và huấn luyện mang lại hiệu quả cao vì tính trực quan, kinh tế, tính sử dụng nhiều lần, không bị hư hỏng và đảm bảo an toàn tuyệt đối cho người khai thác, vận hành. Tuy nhiên, để nâng cao chất lượng đào tạo học viên trên phần mềm mô phỏng CBĐ (Dynamic BalanceSimulation Software, DBSS), chúng ta cần nghiên cứu đầy đủ hơn về độ tin cậy (tính chính xác) của kết quả cân bằng. Đó chính là vấn đề đặt ra cho nghiên cứu này trước khi đưa sản phẩm vào đào tạo.

[1] *NCS ĐH Nha Trang, CNBM Máy tàu,Khoa Cơ điện, Học viện Hải quân.*
[2] *Viện trưởng, Viện NCKH&CNHH, Đại học Hàng Hải Việt Nam.*

## 2. CƠ SỞ ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY CHO DBSS

### 2.1. Nguyên nhân dẫn đến sai số của phần mềm mô phỏng cân bằng động

DBSS được xây dựng trên cơ sở mô hình hóa cơ hệ rô to đặt trên máy CBĐ thành một hệ phương trình toán học, với giả thiết gần đúng bản chất vật lý giữa cơ hệ thực với mô hình toán thu được. Sai số luôn tồn tại dưới dạng sai số khách quan. Việc hoàn thiện mô hình trong quá trình nghiên cứu ảnh hưởng của mất cân bằng đến dao động thu được sẽ làm giảm sai số của bài toán thuận: Từ mất cân bằng đến dao động đo được cho CBĐ.

Dao động tại hai gối động của máy cân bằng được mô phỏng là nghiệm thu được khi giải hệ phương trình bậc nhất hai ẩn viết cho trạng thái dao động tại hai gối này, theo hệ phương trình viết dưới dạng ma trận số phức (Đỗ Đức Lưu, nnk 2015):

$$\begin{aligned} &\mathbf{M}\ddot{\mathbf{x}} + \mathbf{D}\dot{\mathbf{x}} + \mathbf{K}\mathbf{x} = -\mathbf{F}_0 \exp(i\omega t) + \mathbf{F}_0 \exp(-i\omega t) \\ &\rightarrow (\mathbf{K} - \omega^2\mathbf{M} \pm i\omega\mathbf{D})\mathbf{z}_{\pm} = \mp\mathbf{F}_0 \end{aligned} \quad (1)$$

Với $\mathbf{x},\mathbf{z}$ –véc tơ trạng thái dao động viết dưới dạng số thực, số phức. Các ma trận hệ số $\mathbf{M}$, $\mathbf{D}$, $\mathbf{K}$ – giả thiết trong mô phỏng đều đã biết và đưa vào đều xác định cụ thể.

Nghiệm của phương trình (1) có sai số trong tính toán làm tròn số và là bài toán không xác định do có sai số từ vế phải tại $\mathbf{F_0}=[f_0,0]^T$. Giá trị đánh giá lực quy đổi $f_0= 0.5*m*r*\omega^2 = 0.5u*\omega^2$, với các ký hiệu m, r, ω, u – khối lượng mất cân bằng (ước lượng), bán kính lệch tâm (quy ước), vận tốc góc (rad/s) và lượng mất cân bằng u=mr, g.mm (Đỗ Đức Lưu, nnk 2015).

Bài toán ngược trong DBSS là trên cơ sở dao động thu được, theo phương pháp CBĐ trên một mặt phẳng/hai mặt phẳng chúng ta xử lý các tín hiệu dao động thu được khi đo trên hai gối động của máy CBĐ, sử dụng phương pháp hệ số ảnh hưởng và giải ma trận hệ số ảnh hưởng để xác định lượng mất cân bằng của một/hai mặt phẳng cân bằng (quy ước). Thực tế đây là bài toán ngược giải hệ phương trình bậc nhất có các hệ số không xác định chính xác (có sai số). Sai số của phương pháp giải bao giờ cũng tồn tại, tuy nhiên việc lựa chọn thuật toán giải các bài toán dạng không xác định rất quan trọng, ảnh hưởng trực tiếp đến kết quả tính nghiệm, đặc biệt trong các trường hợp ma trận hệ số vế trái (ma trận hệ số ảnh hưởng) có định thức gần bằng không (ma trận suy diễn). Các vấn đề sai số khi giải bài toán không xác định được PGS.TSKH. Đỗ Đức Lưu nghiên cứu, đề cập trong luận văn tiến sỹ khoa học liên quan đến các bài toán chẩn đoán(Đỗ Đức Lưu, 2007). Khi xây dựng DBSS (Lương Công Nhớ, nnk 2019), PGS Lưu đã sử dụng phương pháp ma trận và thuật toán tối ưu để giảm sai số đã được nêu trên. Đối với bài toán CBĐ, vấn đề không xác định của các hệ số ảnh hưởng đến độ chính xác trong xác định độ mất cân bằng dư tại các mặt phẳng cân bằng được thể hiện dưới đây (Đỗ Đức Lưu, 2007).

+ Mô phỏng lực mất cân bằng (do khối lượng mất cân bằng tạo ra, đây là đầu vào giả thiết đã biết chính xác) tại các mặt phẳng cân bằng quy đổi tương đương về hai gối đỡ thành các lực điều hòa hình sin với các tham số biên độ, pha và tần số đều xác định, nếu vòng quay cân bằng xác định và không đổi. Sai số của các tham số trên có thể sinh ra trong tính toán làm tròn số của máy tính. Lực cưỡng bức biểu diễn dưới dạng số phức: $F(t)= F_0.\exp(i\omega t)$, với $F_0$ là biên độ phức của lực quy đổi, sai số do làm tròn số.

+ Từ các lần thử nghiệm, ta xác định ma trận các hệ số ảnh hưởng từ dao động (mô phỏng đo được) tác động đến lượng mất cân bằng dư $\mathbf{U}=[u_1, u_2]^T$ (được đánh giá, xác định trong bài toán ngược, g.mm), hoặc khối lượng mất cân bằng được đánh giá (thu được từ mô phỏng,gam) $\mathbf{dm} =[dm_1, dm_2]^T$tại hai mặt phẳng cân bằng:

$$\begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} \\ q_{21} & q_{22} \end{bmatrix} . \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{1\text{-}0} \\ v_{2\text{-}0} \end{bmatrix} \Leftrightarrow \mathbf{Q.U} = \mathbf{V} \quad (2)$$

Với $\mathbf{Q}$, $\mathbf{U}$, $\mathbf{V}$ là ma trận và véc tơ tương ứng. Kí hiệu $v_{1\text{-}0}$, $v_{2\text{-}0}$ – các số phức thu được từ hiệu số giữa hai dao động thu được tại lần thí nghiệm 2 (hoặc 3)với thí nghiệm đầu tiên. Trong (2) hệ số $q_{rs}$ – hệ số ảnh hưởng, [q] = [v]/[u] –biểu thị ảnh hưởng của dao động tác động đến mất cân bằng dư.

Sai số trong tính toán xác định U từ (2) là một trong các dạng của bài toán không xác định khi giải bài toán ngược, ta tìm U theo:

$$\mathbf{U} = [\mathbf{Q}^T\mathbf{Q}]^{-1}\mathbf{Q}^T\mathbf{V} \quad (3)$$

Trong phương pháp CBĐ, mất cân bằng gây nên dao động với tần số bằng tần số cơ sở (tần số quay của trục rô to cân bằng). Do vậy tín hiệu dao động đo được trong miền thời gian (có sai số, có chứa nhiễu) được xử lý Furie (qua thuật toán FFT), xác

định biên độ và pha của dao động với tần số cơ sở. Về phương pháp luận, xử lý FFT luôn tồn tại hiện tượng "méo", "rò lọt" tín hiệu. Kết hợp với FFT, trong thuật toán có sử dụng các cửa sổ lọc để làm giảm các hiệu ứng xấu nêu trên. Tuy vậy, kết quả cuối cùng luôn tồn tại sai số.

Sản phẩm DBSS được các tác giả (Lương Công Nhớ, nnk 2019) xây dựng trên LabView và sử dụng phần mềm MathScript của hãng National Instruments (Hoa kỳ) có bản quyền. Cơ sở toán học của các sản phẩm này rất tốt, được tích hợp với MATLAB (sử dụng MatScript giống như m.file của MatLab). Do vậy chúng tôi tin tưởng các sản phẩm được xây dựng trên LabView sẽ có độ chính xác cao, mặc dù luôn tồn tại sai số trong quá trình tính (thuật toán gần đúng và phép làm tròn số).

**2.2. Phương pháp đánh giá độ tin cậy của kết quả cân bằng trên phần mềm mô phỏng**

Chúng ta sẽ đánh giá sai số để xem xét độ tin cậy của kết quả cân bằng do các thao tác không chính xác từ người vận hành. Thao tác trong cân bằng là trực tiếp thêm vào hoặc lấy đi một khối lượng mà máy đưa ra (Add Mass/ Remove Mass). Thao tác tuyệt đối chính xác nếu tại vị trí được máy chỉ ra, thực hiện theo đúng khối lượng chỉ dẫn. Tuy nhiên, thực tế thao tác có thể có sai lệch cả về vị trí (góc) lẫn độ lớn khối lượng. Và sai số này ta mô hình hóa và đưa vào là đại lượng ngẫu nhiên cho quá trình nghiên cứu.

Phương pháp đánh giá sai số dưa trên cơ sở lý thuyết thống kê. Ta thiết kế các thí nghiệm có đầu vào cho rô to cân bằng với các mức độ sai số khác nhau, có tính đến sai số ngẫu nhiên. Thực hiện quá trình cân bằng và xử lý các số liệu thu được từ DBSS khi phần mềm đưa ra kết quả đánh giá mất cân bằng dư (đầu ra của bài toán ngược). Với số liệu đầu vào (mô phỏng mất cân bằng dư) và đầu ra (tính ngược lại chính đại lượng mất cân bằng dư đó) cho phép thực hiện đánh giá thống kê độ chụm (sự tập trung) và phương sai (sự phân tán), đưa ra độ tin cậy của phần mềm theo tiêu chuẩn thống kê Schi ($\chi^2$) (Lương Công Nhớ, nnk 2019).

Cơ sở dữ liệu thu được qua n lần thử lặp (mô phỏng có sai số đầu vào $m_i(k)=m \pm dm$ (với dm là sai số giả định do nhiễu trắng), sau đó ta mô phỏng được quá trình xác định bài toán ngược, đánh giá lượng mất cân bằng $m_e(k)$, k=1,2,…,n (giả thiết bán kính r xác định, không đổi). Giá trị trung bình mất cân bằng ước lượng:

$$\bar{m}_e = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} m_e(k); SE = \sum_{k=1}^{n}[m_e(k) - \bar{m}_e]^2 \quad (4)$$

Tổng bình phương sai số SE có bậc tự do υ= n-1 (bằng số lần thí nghiệm lặp trừ 1 do 1 phương trình liên kết tính giá trị trung bình). Tiêu chuẩn Schi được sử dụng cho kiểm tra độ tin cậy (độ chụm) dữ liệu đầu ra.

$$\chi_c^2(\upsilon) = \mathrm{SE}/(\mathrm{n}-1) \quad (5)$$

Kiểm tra giá trị tính (5) với giá trị tiêu chuẩn theo lý thuyết thống kê $\chi_\beta^2(\upsilon)$ đạt b=(1-a) độ tin cậy (a - sai số), nếu xảy ra: $\chi_c^2(\upsilon) \le \chi_\beta^2(\upsilon)$. (6)

Khi đó, tín hiệu nằm trong đoạn:

$$\left[\bar{m}_e - k\sigma, \bar{m}_e + k\sigma\right]; \sigma^2 = SE/n \quad (7)$$

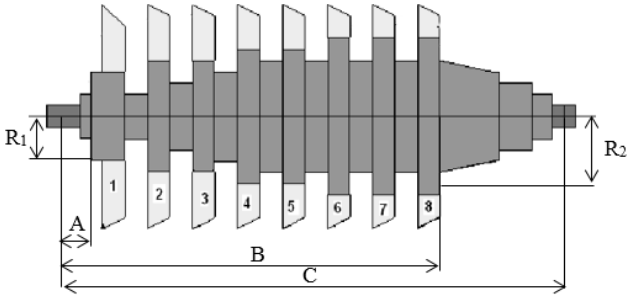
Trong lý thuyết thống kê, thông thường chọn độ tin cậy b=95%, hay sai số a=5% , nếu dữ liệu thỏa mãn điều kiện (6), khi đó k=2. Nếu b=99%, k =2.8÷3.

**3. THÍ NGHIỆM ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY CÂN BẰNG ĐỘNG TRÊN DBSS**

Mô phỏng CBĐ trên máy CBĐ, cho cụm rô to máy nén thấp áp GTE (hình 1) với các thông số cơ bản (bảng 1).Theo tiêu chuẩn ISO 1940-1, đối với rô to GTE ta chọn G6.3 (Đỗ Đức Lưu, nnk 2016).Giả định lượng mất cân bằng dư rô to $m_1$ = 8 (g), $m_2$ = 6 (g) tại 2 mặt phẳng hiệu chỉnh cách gối đỡ trái một khoảng lần lượt là A và B, tại các bán kính $R_1$, $R_2$.

Khối lượng thử được xác định theo tiêu chuẩn G6.3 tại các mặt phẳng hiệu chỉnh là $mt_1 \le 7,5$ (g) , $mt_2 \le 4,5$ (g). Chương trình tự động tính toán xác định lượng mất cân bằng dư như hình 2. Ở đây ta thấy lượng mất cân bằng dư qui đổi về 2 gối đỡ trái (740,58 g.mm), phải (597.38 g.mm) đều lớn hơn mức cho phép (143 g.mm). Đồng thời chương trình cũng xác định lượng mất cân bằng dư tại các mặt phẳng hiệu chỉnh đã chọn để tham khảo và thực hiện cân bằng động (thêm/ bớt các khối lượng tại các vị trí đã xác định).

Hình 2 thể hiện giao diện chính thu được qua 3 lần thử đánh giá mức độ mất cân bằng dư thực tế theo phương pháp cân bằng động tại hai mặt phẳng cân bằng, áp dụng cho CBĐ tua bin khí áp suất thấp (tàu Hải quân được mô phỏng).

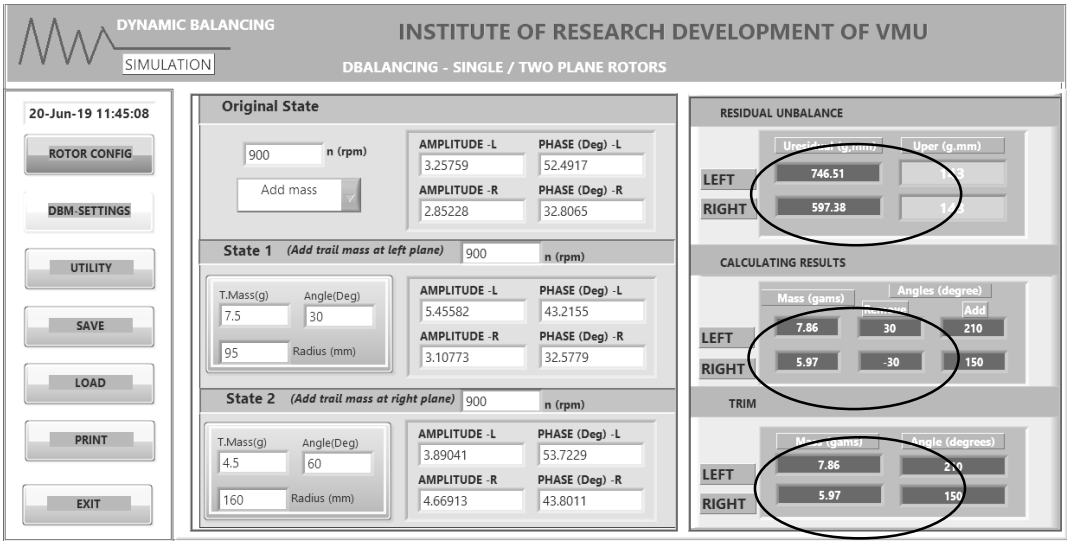



*Hình 1. Cấu tạo rô to máy nén thấp áp của động cơ tua bin khí*

Giả thiết cân bằng động qua 3 thử nghiệm. Kết quả sau cân bằng động được thể hiện trên hình 3. Ta thấy mất cân bằng dư quy đổi về 2 gối đỡ trái, phải đã ở mức cho phép an toàn. Như vậy quá trình CBĐ cho rô to có thể chấp nhận được. Để đánh giá độ tin cậy của phần mềm ta lần lượt tiến hành thay đổi các khối lượng giả định $m_1$, $m_2$ và xác định độ lệch trung bình, phương sai để đánh giá độ tin cậy của phần mềm theo tiêu chuẩn Schi.

**Bảng 1. Thông số rô to máy nén thấp áp**

| TT | Thông số ban đầu | Đơn vị | Giá trị |
|---|---|---|---|
| 1 | Tốc độ khai thác | rpm | 10000 |
| 2 | Khối lượng rô to | kg | 47,5 |
| 3 | Tiêu chuẩn cân bằng | | G6.3 |
| 4 | Mô hình | | CF1 |
| 5 | Tốc độ cân bằng | rpm | 900 |
| 6 | A | mm | 75 |
| 7 | B | mm | 565 |
| 8 | C | mm | 740 |
| 9 | $R_1$ (bán kính cân bằng) | mm | 95 |
| 10 | $R_2$(bán kính cân bằng) | mm | 160 |




*Hình 2. Giao diện chính qua 3 lần thí nghiệm trong CBĐ tại hai mặt phẳng*

Kết quả được tổng hợp trong bảng 2, khi thay đổi lượng $dm_1$, $dm_2$ theo mức nhiễu trắng với 5 lần lặp, biên độ nhiễu 5% so với $m_1$ và $m_2$. Trong MatLab, dùng m.file với lệnh:

```
for k=1:5
Ra(k)=0.05*rand;
end
```

Ta thu được:

Ra = [0.0379 0.0372 0.0196 0.0328 0.0086]

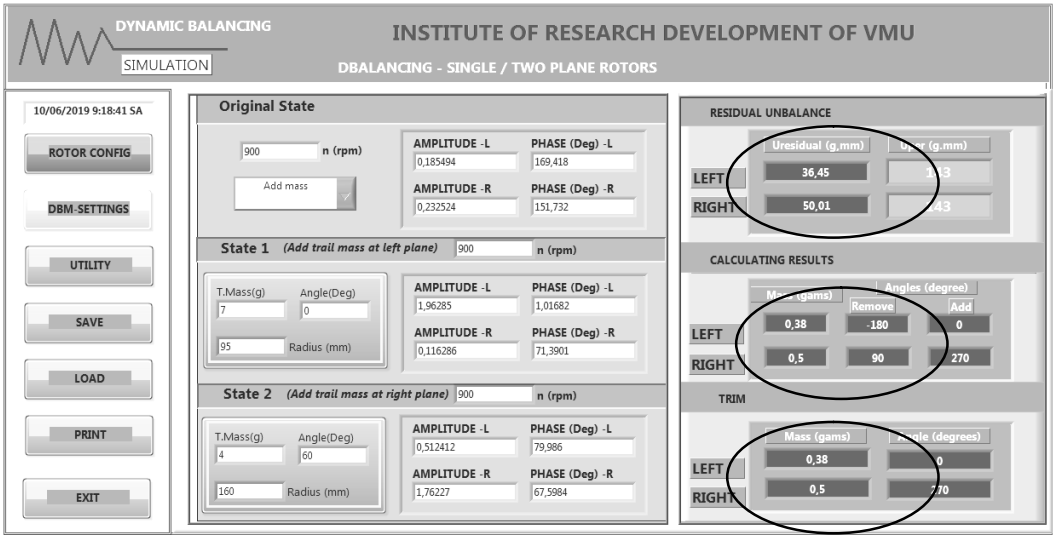
$m_1$=8 (1+Ra) = [8.3031 8.2973 8.1569 8.2622 8.0685];

$m_2$=6(1+Ra) = [6.2273 6.2229 6.1177 6.1966 6.0514];

**Bảng 2. Tổng hợp kết quả đánh giá độ tin cậy phần mềm mô phỏng CBĐ**

| N | $m_1$ | $m_2$ | Kết quả trước cân bằng động | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | *MCB dư (g.mm)* | | | *KQ tính MCB* | | | |
| | | | G.trái | G.phải | Cho phép | $me_1$ (g) | $SE_1$ | $me_2$ (g) | $SE_2$ |
| 1 | 8,0 | 6,23 | 739,08 | 620.60 | 143 | *7,80* | 0.009025 | *6.21* | 0.023409 |

| N | $m_1$ | $m_2$ | Kết quả trước cân bằng động | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | *MCB dư (g.mm)* | | | *KQ tính MCB* | | | |
| | | | G.trái | G.phải | Cho phép | $me_1$ (g) | $SE_1$ | $me_2$ (g) | $SE_2$ |
| 2 | 8,0 | 6,22 | 739.11 | 619.6 | 143 | *7,78* | 0.013225 | *6,20* | 0.020449 |
| 3 | 8,0 | 6,13 | 739,41 | 610,53 | 143 | *7,78* | 0.013225 | *6,11* | 0.002809 |
| 4 | 8,0 | 6,20 | 739,18 | 617,58 | 143 | *7,78* | 0.013225 | *6,18* | 0.015129 |
| 5 | 8,0 | 6,05 | 739,68 | 602,48 | 143 | *7,79* | 0.011025 | *6,02* | 0.001369 |
| 6 | 8,30 | 6,0 | 750,09 | 597,30 | 143 | *8.08* | 0.034225 | *5,97* | 0.007569 |
| 7 | 8,29 | 6,0 | 755,60 | 597,.31 | 143 | *8,08* | 0.034225 | *5,97* | 0.007569 |
| 8 | 8,16 | 6,0 | 755,06 | 597,31 | 143 | *7.95* | 0.003025 | *5,97* | 0.007569 |
| 9 | 8,26 | 6,0 | 764.57 | 597,22 | 143 | *8,05* | 0.024025 | *5,97* | 0.007569 |
| 10 | 8,07 | 6,0 | 788,14 | 596,96 | 143 | *7.86* | 0.001225 | *5,97* | 0.007569 |
| TB | 8.108 | 6.083 | *Trung bình,* $\chi_c^2(\upsilon)$ | | | ***7.895*** | ***0.017383*** | ***6.057*** | ***0.011223*** |




*Hình 3. Giao diện chính sau khi cân bằng tại hai mặt phẳng*

## 4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Theo các công thức trên ta tính được:

Đối với mặt phẳng cân bằng 1, $\mathbf{m_{e1}}$: SE/(n-1) = 0.017383<< $\chi^2_{99\%}(9)$ = 21.67;

Đối với mặt phẳng cân bằng 2, $\mathbf{m_{e1}}$: SE/(n-1) = 0.011223<< $\chi^2_{99\%}(9)$ = 21.67.

Như vậy, các kết quả xác định mất cân bằng tại hai mặt phẳng cân bằng $m_{e1}$ và $m_{e2}$có độ tin cậy cao, đạt b= 99%. Trong trường hợp này, ta có khoảng xác định:

$$m_{e1} \subseteq [7.895 - 3x0.039554, 7.895 + 3x0.039554] \approx [7.78,\ 8.01]$$

$$m_{e2} \subseteq [6.057 - 3x0.031782, 7.895 + 3x0.031782] \approx [5.96,\ 6.15]$$

## 5. KẾT LUẬN

Thực hiện mô phỏng tính lượng mất cân bằng của rô to động cơ tua bin khí tàu Hải quân khi đặt trên máy cân bằng động cho thấy độ tin cậy của các kết quả thu được đều đạt 99% khi sai số đầu vào giả định trong phạm vị 10% khối lượng mất cân bằng, sai số tuân theo luật ngẫu nhiên, nhiễu trắng. Kết quả chứng minh độ tập trung rất cao khi có sai số nêu trên, với phương sai $\sigma_1$=0.0396 và $\sigma_2$= 0.0318. Sự khác lệch giữa giá trị đầu vào và giá trị đầu ra (trung bình) ở mức: $\Delta_{m1}$=0.213 (g), $\Delta_{m1}$=0.026 (g) hay $\Delta_{m1}$% = 2.6%, $\Delta_{m2}$%= 0.43%.

Kết quả nghiên cứu khẳng định tính ứng dụng cao của phần mềm mô phỏng cân bằng động được Ban chủ nhiệm đề tài xây dựng cho đào tạo, huấn luyện.

**6. LỜI CẢM ƠN**

Các tác giả xin trân thành cảm ơn Ban chủ nhiệm đề tài MS. ĐTĐLCN-14/15 đã cho phép sử dụng sản phẩm phần mềm để thực hiện nội dung bài báo này.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

Lương Công Nhớ và các tg, (2019), *Báo cáo tổng hợp đề tài KHCN cấp Quốc gia, MS. ĐTĐL.CN-14/15 (Tên đề tài: Nghiên cứu, xây dựng mô phỏng hệ động lực chính và trạm phát điện cho tàu biển chở hàng tổng hợp),* Đại học Hàng hải Việt Nam.

Đỗ Đức Lưu và các tg, (2015), *Xây dựng cơ sở toán học và truyền tin cho cân bằng động rô to cứng*, Đề tài NCKH trường Đại học Hàng hải Việt Nam.

Đỗ Đức Lưu và các tg, (2016), *Nghiên cứu, xây dựng mô phỏng dao động trên gối động máy cân bằng động đặt nằm ngang*, Kỷ yếu Hội nghị quốc tế về Khoa học công nghệ *Hàng hải*, Đại học Hàng hải Việt Nam.

Đỗ Đức Lưu, (2007), *Chẩn đoán động cơ diesel tàu biển bằng dao động xoắn đường trục, Luận án Tiến sỹ Khoa học;* Học viện Hàng hải Quốc gia mang tên Đô đốc Hải quân S.O. Macarov, Saint Petecbuarg – Liên Bang Nga.

**Abstract:**

**SIMULATING DYNAMIC BALANCE ROTORSUSING THE DYNAMIC BALANCE SIMULATION SOFTWARE FOR ROTORS PLACED ON DYNAMIC BALANCE MACHINES**

*Dynamic balance simulation software (DBSS) helps educatied trainees, as well as mechanical enginers and students to understand and have good skills before carrying out the rotor dynamic balance in practice, especially for training team of electro-mechanical officers for the Vietnam Navy. Dynamic simulation and dynamic balance software was built at Vietnam Maritime University (VMU) by the National Project Management Board, MS. ĐTĐL.CN14 / 15, chaired by VMU. The software can be used for training navy students, officers and mechanical crew of military ships. The article estimates the reliability of the dynamic balance simulation software, applied to important details in the Navy Ship Gas Turbine Engines. The results were obtained with 99 % confidence according to the Chi ($\chi^2$) statistic creterion and confirmed the accuracy and applied goals of the studied simulation software.*

**Keywords**: Simulation software for dynamic balancing; convidence of simulation software.

*Ngày nhận bài: 21/6/2019*

*Ngày chấp nhận đăng: 23/8/2019*