

Nghiên cứu sự ảnh hưởng của tỷ lệ không khí - nhiên liệu đến nồng độ khí thải NO_x trong động cơ diesel tàu thủy bằng phần mềm ricardo wave

ThS. NCS. HOÀNG VĂN SĨ

TS. BÙI HỒNG DƯƠNG

Trường Đại học GTVT TP. Hồ Chí Minh

Tóm tắt: Bài báo giới thiệu một số kết quả nghiên cứu sự ảnh hưởng của tỷ lệ không khí - nhiên liệu (A/F) đến nồng độ khí thải NO_x do động cơ diesel tàu thủy gây ra và qua đó tìm ra phạm vi khai thác hợp lý nhằm làm giảm ô nhiễm môi trường.

Abstract: This paper presents some research results on the effect of air - fuel ratio (A/F) to NO_x emission from marine diesel engines and based on which suitable operational ranges have been found to reduce environmental pollution.

1. Đặt vấn đề

Trong quá trình nghiên cứu về động cơ diesel tàu thủy, việc khảo sát chu trình nhiệt động của động cơ như diễn biến quá trình thay đổi áp suất, nhiệt độ, các quy luật biến đổi năng lượng trong quá trình cháy bên trong xi lanh động cơ cũng như xác định các chỉ tiêu về tính kinh tế - năng lượng - môi trường là rất quan trọng, đặc biệt là xác định mức độ ảnh hưởng của các thông số công tác đến nồng độ khí thải NO_x được nhiều tổ chức và các nhà khoa học nghiên cứu và được tổ chức hàng hải quốc tế (IMO) áp dụng tại phụ lục VI về ngăn ngừa ô nhiễm khí thải từ tàu của Công ước quốc tế về ngăn ngừa ô nhiễm biển từ tàu (MARPOL 73/78).

Cho đến nay, có nhiều phương pháp tính toán chu trình công tác của động cơ như Zeldovich, Grinheveski, Diesel Wiebe, Hyroyasu, Razleitsev... Tuy nhiên, do diễn biến trong quá trình biến đổi nhiệt năng trong động cơ diesel tàu thủy hết sức phức tạp, chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố cơ, nhiệt bên trong cũng như bên ngoài động cơ làm cho các phương pháp trên gặp nhiều khó khăn trong việc so sánh đánh giá mức độ ảnh hưởng của các thông số đến hàm lượng NO_x có trong khí thải từ động cơ diesel tạo ra.

Hiện nay, dựa vào cơ sở tính toán chu trình nhiệt động, người ta đã xây dựng nhiều phần mềm để tính toán, mô phỏng sự biến đổi các chu trình nhiệt động của động cơ diesel như Ricardo Wave, AVL Boost, Diesel - RK, GT-Power... Trong các phần mềm liệt kê trên, tác giả bài báo sử dụng phần mềm Ricardo Wave để nghiên cứu sự ảnh hưởng của tỷ số không khí - nhiên liệu (A/F) đến nồng độ khí thải NO_x .

2. Tỷ số Stoichiometric giữa không khí và nhiên liệu trong động cơ diesel

Động cơ đốt trong đốt cháy nhiên liệu tạo ra động năng. Sự đốt cháy nhiên liệu là phản ứng cơ bản của nhiên liệu với ô xy trong không khí. Lượng nhiên liệu có thể được đưa vào để đốt cháy được giới hạn bởi lượng ô xy trong xi lanh.

Khi thiết kế một động cơ, một điều rất quan trọng là biết tỷ số giữa không khí và nhiên liệu. Tỷ lệ ô xy chính xác cần có trong buồng đốt để đốt nhiên liệu cháy hết hoàn toàn. Tỷ số này được gọi là STOICHIOMETRIC (thường được gọi tắt là Stoich) giữa không khí và nhiên liệu.

$$AFR_{Stoich} = \frac{m_{\text{không khí, Stoich}}}{m_{\text{nhiên liệu, Stoich}}} \quad (1)$$

Như đã nói ở trên, Stoich không khí - nhiên liệu là tỷ số mà tất cả ô xy được sử dụng hết và tất cả nhiên liệu được đốt cháy hoàn toàn. Trong quá trình cháy, tỷ số giữa lượng không khí - nhiên liệu thực tế được xác định.

$$AFR_a = \frac{\dot{m}_{\text{không khí, a}}}{\dot{m}_{\text{nhiên liệu, a}}} \quad (2)$$

Tỷ số giữa lượng không khí - nhiên liệu thực tế trên lượng không khí - nhiên liệu lý thuyết (Stoich) được xác định:

$$\lambda = \frac{\frac{\dot{m}_{\text{không khí, a}}}{\dot{m}_{\text{nhiên liệu, a}}}}{\frac{m_{\text{không khí, Stoich}}}{m_{\text{nhiên liệu, Stoich}}}} \quad (3)$$

Tỷ số cân bằng tương đương giữa lượng nhiên liệu - không khí thực tế trên lượng nhiên liệu - không khí lý thuyết (Stoich) được xác định:

$$\phi = \frac{1}{\lambda} = \frac{\frac{\dot{m}_{\text{nhiên liệu, a}}}{\dot{m}_{\text{không khí, a}}}}{\frac{m_{\text{nhiên liệu, Stoich}}}{m_{\text{không khí, Stoich}}}} \quad (4)$$

- Hỗn hợp lý tưởng Stoich: $\phi = \lambda = 1$
- Hỗn hợp giàu nhiên liệu: $\phi > 1$; $\lambda < 1$
- Hỗn hợp nghèo nhiên liệu: $\phi < 1$; $\lambda > 1$

3. Ứng dụng phần mềm Ricardo Wave để tối ưu hóa tỷ số không khí - nhiên liệu giảm nồng độ khí thải NO_x trong động cơ diesel tàu thủy

3.1. Giới thiệu phần mềm Ricardo Wave

Ricardo là tổ chức toàn cầu trong lĩnh vực kỹ thuật và tư vấn môi trường, được thành lập từ năm 1915 bởi Giáo sư Harry Ricardo. Hiện nay, Ricardo có trên 2.100

- kỹ sư, nhà khoa học và tư vấn viên trên toàn thế giới.
- Phần mềm Ricardo Wave hiện nay được sử dụng phổ biến trên thế giới trong nhiều lĩnh vực khác nhau, đặc biệt có nhiều ưu điểm như xây dựng mô hình động cơ từ các đối tượng có trong thư viện, thiết kế mô hình đầy đủ, thay đổi các tham số trong mô hình dễ dàng, chương trình cho nhiều kết quả như:
- Mô phỏng quá trình hoạt động của động cơ - các thông số động lực học động cơ.
 - Mô phỏng và thiết kế hệ thống đường ống nạp, xả để cải thiện độ êm dịu của động cơ.
 - Mô phỏng quá trình cháy nhiên liệu và thành phần khí xả.
 - Phân tích nhiệt động lực học trong quá trình cháy của nhiên liệu trong buồng đốt và nhiệt độ trong hệ thống xả.
 - Mô phỏng động lực học và hệ thống truyền động của những loại động cơ khác nhau.
 - Mô phỏng 3D phân tích hệ thống nạp, xả nhiên liệu.
 - Chức năng mô phỏng quá trình cháy nhiên liệu - thành phần khí xả.
 - Mô phỏng và tính toán các thông số động lực học động cơ xăng và diesel.
 - Tính toán lượng phát thải các chất ô nhiễm như: CO, HC, Nox.
 - Phân tích áp suất và nhiệt độ buồng cháy trong thời điểm nhất định.
 - Mô phỏng động cơ sử dụng nhiều loại nhiên liệu khác nhau: HFO, DO, LPG, NGV, Xăng, Ethanol, Biodiesel...

3.2. Giả thuyết đối với mô hình toán học

Mô hình trạng thái toán của tỷ lệ không khí và nhiên liệu trên động cơ đốt trong được nghiên cứu nhằm đưa ra sự hiểu biết cơ bản về động học điều chỉnh tỷ lệ không khí - nhiên liệu. Quá trình thực tế tạo ra tỷ lệ không khí - nhiên liệu rất phức tạp và các mô hình nghiên cứu này chỉ trình bày được gần đúng với quá trình thực. Các giả thiết khi ta nghiên cứu:

- Không khí trong bầu góp khí nạp thì coi như khí lý tưởng.
- Sự thay đổi nhiệt độ không khí nạp trong bầu góp là không đáng kể.
- Bỏ qua các hiện tượng riêng ở mỗi xy lanh, chỉ quan tâm đến lưu lượng bình quân được cấp vào.

3.3. Mô hình toán về tỷ số không khí - nhiên liệu

Phương trình trạng thái đối với lượng không khí nạp vào trong các xy lanh của động cơ chia cho khối lượng nhiên liệu được phun vào trong xy lanh động cơ:

$$\lambda = \frac{\eta \cdot V_d \cdot n \cdot p_i}{2 \cdot R \cdot T \cdot [\frac{1}{\tau} m_p + (1 - X) \cdot f] (A / F)_s} \quad (5)$$

Trong đó:

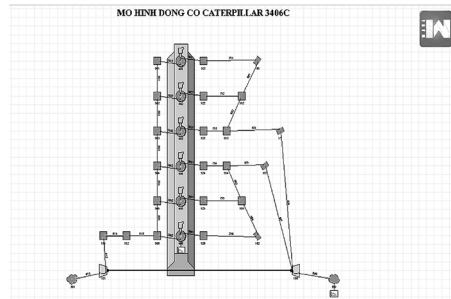
- η - Hiệu suất nạp của động cơ
- V_d - Thể tích công tác của động cơ
- n - Số vòng quay động cơ
- p_i - Áp suất trong bầu góp
- R - Hằng số chất khí
- T - Nhiệt độ của không khí nạp
- m_p - Khối lượng tia nhiên liệu cho mỗi chu trình

- τ - Hằng số thời gian cháy của tia nhiên liệu
- X - Lượng nhiên liệu được phun vào hóa hơi trong chùm tia nhiên liệu
- f - Nhiên liệu ra khỏi vòi phun ở mỗi xy lanh
- $(A/F)_s$ - Tỷ số không khí - nhiên liệu lý thuyết

4. Áp dụng mô hình cho động cơ diesel tàu thủy cụ thể bằng phần mềm Ricardo Wave 8.0

Bảng 1. Thông số cơ bản của động cơ diesel Caterpillar 3406C

THÔNG SỐ	GIÁ TRỊ
Hãng / Model	CATERPILLAR 3406C
Loại động cơ	Động cơ 4 kỳ, 6 xy lanh thẳng hàng
Đường kính x hành trình (DxS)	137.2 x 165.1 mm
Thể tích xi lanh	14640 (cm ³)
Công suất cực đại @ v/p	322 HP/1800 v/p

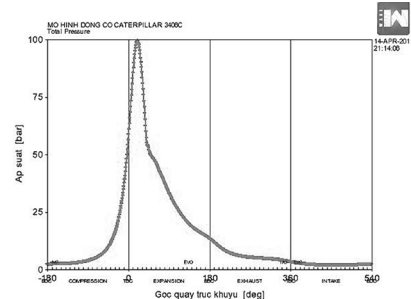


Hình 1: Mô hình máy CAT 3406C trên phần mềm Ricardo Wave

5. Thu thập, xuất dữ liệu trên phần mềm Ricardo Wave 8.0

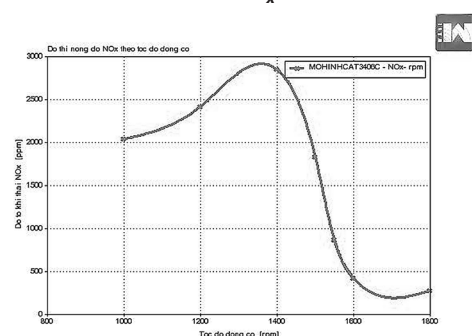
Sau khi đã hoàn thành tất cả các bước trên, ta chạy chương trình mô phỏng và có được kết quả về các đồ thị đặc tính của động cơ Cat như sau:

5.1. Áp suất cháy - Góc quay trục khuỷu



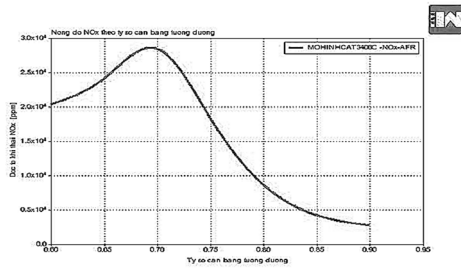
Hình 2: Áp suất cháy theo góc quay trục khuỷu của động cơ 3406C

5.2. Nồng độ khí thải NO_x - Tốc độ động cơ



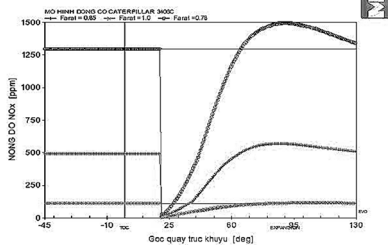
Hình 3: Nồng độ NO_x với tốc độ động cơ

5.3. Nồng độ khí thải NO_x - Tỷ số cân bằng tương đương



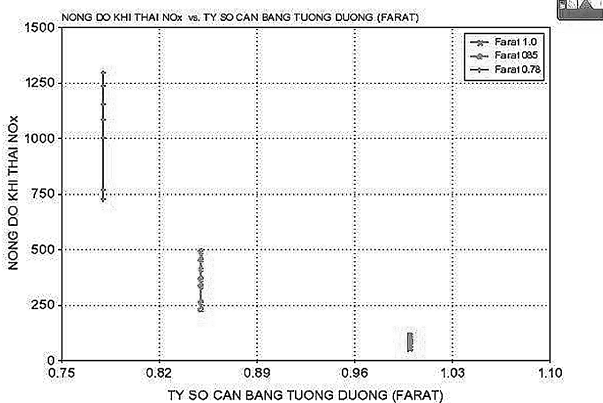
Hình 4: Nồng độ NO_x - tỷ số cân bằng tương đương

5.4. Nồng độ khí thải NO_x - Góc quay trục khuỷu



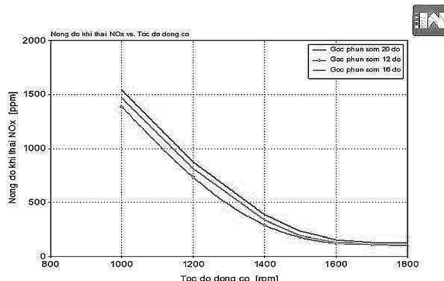
Hình 5: Nồng độ NO_x - Góc quay trục khuỷu tương ứng tỷ số cân bằng tương đương khác nhau

5.5. Nồng độ khí thải NO_x theo từng số cân bằng tương đương xác định



Hình 6: Nồng độ NO_x - tương ứng tỷ số cân bằng tương đương 0.78; 0.85 và 1.0

5.6. Nồng độ khí thải NO_x - Số vòng quay động cơ



Hình 7: Nồng độ NO_x theo vòng quay động cơ khi thay đổi góc phun sớm

6. Nhận xét và kết luận

- Trong động cơ diesel, nồng độ NO_x phụ thuộc trực tiếp vào lượng nhiên liệu cung cấp cho chu trình, nên khi tăng lượng cấp nhiên liệu, đồng nghĩa việc tăng tải, làm cho áp suất cháy cực đại tăng, dẫn đến NO_x tăng.

- Nồng độ NO_x đạt giá trị cực tiểu khi động cơ làm việc ở vòng quay 1700v/p và NO_x đạt giá trị cực đại khi động cơ làm việc ở vòng quay 1370 v/p. (Hình 3 và Hình 4)

- Nồng độ NO_x hình thành sau 25 độ theo góc quay trục khuỷu từ điểm chết trên trong kỳ cháy giãn nở, do vậy khi giảm góc phun sớm, điểm bắt đầu cháy lùi gần điểm chết trên hơn, điều kiện hình thành NO_x cũng bắt đầu trễ hơn và nồng độ NO_x giảm đáng kể do nhiệt độ cháy cực đại giảm (Hình 5).

- Khi tỷ số cân bằng tương đương bằng 0.9 (hỗn hợp giàu) tương ứng khi đó nhiệt độ khí xả đạt giá trị cực đại, nghĩa là hỗn hợp giàu, trong điều kiện đó ô xy thấp, khi hệ số dư lượng không khí α tăng, ảnh hưởng của sự gia tăng áp suất riêng của ô xy đến NO_x lớn hơn ảnh hưởng của sự giảm nhiệt độ khí cháy nên giá trị NO_x đạt giá trị cực tiểu, tiếp theo do độ đậm đặc của hỗn hợp tiếp tục giảm thì tốc độ phản ứng tạo NO_x cũng giảm do nhiệt độ khí cháy giảm nên khi tăng tỷ số cân bằng tương đương ϕ sẽ làm giảm nồng độ NO_x và ngược lại NO_x đạt giá trị cực đại khi tỷ số cân bằng tương đương bằng 0.7 (hỗn hợp nghèo) (Hình 6).

- Nồng độ NO_x đạt giá trị cực đại khoảng 90 đến 95 độ theo góc quay trục khuỷu so với điểm chết trên trong kỳ cháy giãn nở (Hình 5).

- Tăng góc phun sớm từ 16 độ theo góc quay trục khuỷu lên 20 độ theo góc quay trục khuỷu, làm thời gian cháy kéo dài, áp suất cháy cực đại gần điểm chết trên, nhiệt độ cháy cực đại tăng lên, dẫn đến cơ hội hình thành NO_x nhiều hơn. Thực tế khi giảm góc phun sớm trong động cơ diesel tàu thủy cỡ lớn, nồng độ NO_x giảm đáng kể trong khí xả trong phạm vi gia tăng suất tiêu hao nhiên liệu có thể chấp nhận được, đồng nghĩa với giảm công suất (Hình 7).

Qua phân tích các đồ thị đặc tính nêu trên, ta có nhận xét:

- Nồng độ khí thải NO_x giảm khi tỷ số cân bằng tương đương tăng.

- Điểm làm việc tối ưu của động cơ tương ứng với nồng độ NO_x đạt giá trị cực tiểu khi động cơ làm việc ở dãy vòng quay $n = 1700 \pm 5$ v/p, tương ứng với tỷ số cân bằng tương đương $\phi = 0.9 \pm 0.02$ □

Tài liệu tham khảo

- [1]. Hoàng Văn Sĩ (2011), *Tối ưu hóa tỷ lệ không khí - nhiên liệu giảm độc tố khí thải NO_x trong động cơ diesel tàu thủy*, Luận văn Thạc sỹ kỹ thuật, Trường Đại học GTVT TP. Hồ Chí Minh
- [2]. Lê Viết Lượng (1997), *Các chế độ chuyển tiếp của động cơ đốt trong*, Trường Đại học Hàng hải, Hải Phòng.
- [3]. Lê Văn Vang, Trương Thanh Dũng, Hoàng Văn Sĩ (2007), *Động cơ diesel tàu thủy*, Trường Đại học GTVT TP. Hồ Chí Minh.
- [4]. Iu la Pho-min, Trần Hữu Nghị (1990), *Xác định công suất diesel tàu thủy và đặc tính của nó*, NXB. GTVT, Hà Nội.
- [5]. Bùi Văn Ga, Phạm Xuân Mai, Trần Văn Nam, Trần Thanh Hải Tùng (1997), *Mô hình hóa quá trình cháy trong động cơ đốt trong*, NXB. Giáo dục.
- [6]. John B Heywood (1988), *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw Hill Book Co.
- [7]. Ricardo Wave 8.0 (2010), USA.

Ngày nhận bài: 01/6/2014
 Ngày chấp nhận đăng: 28/6/2014
 Người phản biện: TS. Ngô Duy Nam
 TS. Lê Văn Vang