

CẤP KHÍ NÉN VÀO BUỒNG ĐỐT ĐỘNG CƠ DIESEL Ở THỜI ĐIỂM PHUN NHẪM GIẢM PHÁT THẢI NO_x

TO SUPPLY THE COMPRESSED AIR AT THE FUEL INJECTION TIMING INTO
THE COMBUSTION CHAMBER OF DIESEL ENGINE FOR REDUCTION OF NO_x

LƯU QUANG HIỆU

Khoa Máy tàu biển, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email liên hệ: luuquanghieu@vimaru.edu.vn

Tóm tắt

Bài báo phân tích các thành phần phát thải độc hại trong khí thải của động cơ diesel và các yêu cầu pháp lý đối với thành phần của khí thải từ tàu, chủ yếu từ động cơ diesel. Bài báo đã đề cập đến các giới hạn ngày càng khắt khe hơn đối với việc phát thải các thành phần khí thải độc hại của động cơ tàu thủy. Tác giả đã thực hiện so sánh về hiệu quả của các phương pháp khác nhau được sử dụng để giảm phát thải các oxit nito. Một trong những giải pháp hiệu quả là cung cấp khí nén vào buồng đốt của động cơ diesel. Tác giả đã chỉ ra cơ chế giảm NO_x trong khí thải bằng cách nén khí cung cấp vào buồng đốt của động cơ diesel.

Từ khóa: Phát thải độc hại, khí xả, oxit nito, không khí nén.

Abstract

The components of the exhaust gases emission and the legal requirements are investigated in this paper. The strict limitation of exhaust gases emission has been mentioned. The authors have made a comparison between the different methods to reduce the nitrogen oxides (NO_x) into the exhaust gases. One of the solutions is the compressed air supplied into the combustion chambers of diesel engines. The authors showed the mechanism to decrease the nitrogen oxides into the exhaust gases by the compressed air supplied into the combustion chamber of diesel engine.

Keywords: Harmful emissions, exhaust gas, nitrogen oxides, compressed air.

1. Vấn đề phát thải khí độc hại từ tàu

Hoạt động giao thông vận tải là nguồn gây ô nhiễm không khí lớn nhất (chiếm tới 60 ÷ 80%) hiện nay. Giống như các phương thức vận tải khác, tàu biển và sông là nguồn gây nguy hiểm cho môi trường. Mặc dù tỷ lệ ô nhiễm không khí từ tàu trong tổng thể là tương đối nhỏ và không vượt quá 3%

nhưng ô nhiễm lại tập trung chủ yếu ở những vùng có mật độ tàu qua lại cao và tại các bến cảng gây nguy hiểm cho dân cư tại các khu vực này [3].

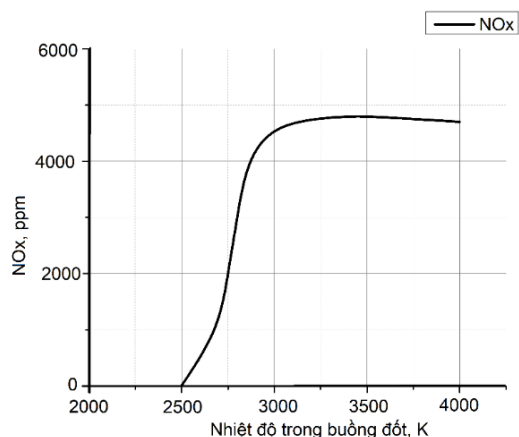
Khí xả từ động cơ đốt trong là hỗn hợp phức tạp với khoảng hơn 200 thành phần. Bốn thành phần chính bao gồm khí ni tơ (N_2), oxy (O_2), cacbonic (CO_2) và nước (H_2O) chiếm 99-99,9% thể tích khí xả. Những chất khí trên không gây độc mà thành phần gây độc chỉ chiếm 0,1-1% thể tích hỗn hợp khí thải. Trong đó, thành phần khí độc hại chính trong khí xả động cơ diesel là các oxit nito. Khí thải động cơ chứa khoảng 10 loại hợp chất nito với oxy, NO chiếm tỷ lệ lớn nhất từ 95-98%. Chiếm 2-5% là các oxit còn lại bao gồm: NO_2 ; N_2O ; N_2O_3 . Khí CO là một sản phẩm trung gian của phản ứng hóa học của nhiên liệu với oxy trong khí quyển. Sự hình thành của CO trong buồng đốt động cơ phụ thuộc vào tính đồng nhất của hỗn hợp nhiên liệu-không khí. Nói một cách đơn giản, carbon monoxide được hình thành là kết quả của quá trình đốt cháy nhiên liệu không hoàn toàn, và nó liên quan trực tiếp đến hệ số không khí thừa trong buồng đốt. Và hydrocarbon (CH_x) là nhóm hợp chất hóa học lớn nhất của khí thải. CH_x có mặt trong khí thải là do nhiên liệu bị đốt cháy không hoàn toàn trong xi lanh động cơ [3].

Hiện nay tổ chức Hàng hải quốc tế IMO đã áp dụng các quy định về phát thải khí NO_x từ tàu được áp dụng cho các động cơ diesel có công suất từ 130kW trở lên, bất kể đó là động cơ lai chân vịt, lai máy phát hoặc động cơ dự phòng. Tổ chức Hàng hải quốc tế kiểm soát phát thải khí NO_x bằng hệ thống với 3 tiêu chuẩn (three-tier system) ứng với năm tàu bắt đầu được đóng và công suất động cơ buộc các chủ tàu phải áp dụng những giải pháp nhằm giảm phát thải chất khí độc hại này.

2. Các yếu tố ảnh hưởng đến phát thải NO_x

Sự hình thành NO_x xảy ra theo cơ chế nhiệt trong vùng cháy ở nhiệt độ cao, là kết quả của quá trình oxy hóa ni tơ với oxy tự do. Nếu sự hình thành của hầu hết các chất độc hại do quá trình cháy không hoàn toàn của nhiên liệu thì sự hình thành của NO_x

diễn ra trong sự hoàn hảo của quá trình cháy dưới góc độ hiệu quả năng lượng nhiên liệu. Nhiệt độ tối đa của chu kỳ càng cao thì hiệu suất động cơ càng cao và khi đó càng tạo ra nhiều NO_x [1, 3, 4].



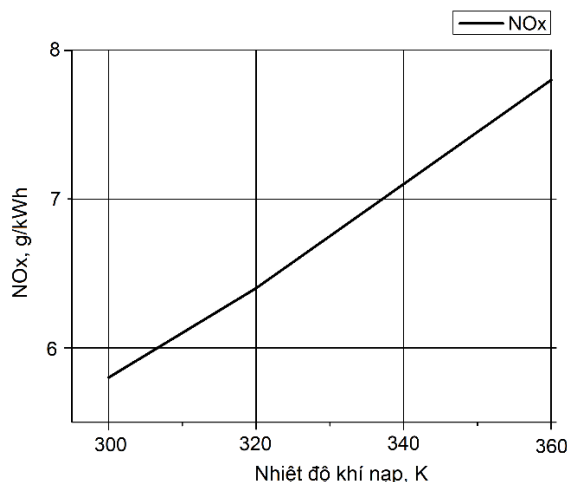
Hình 1. Ảnh hưởng của nhiệt độ buồng đốt đến nồng độ NO_x

Giảm các chất độc hại trong khí thải động cơ diesel là một nhiệm vụ khoa học kỹ thuật phức tạp. Các giải pháp được triển khai trong thực tế thường bám sát các quy định về kiểm soát phát thải, ở đó vấn đề giảm phát thải cần được giải quyết trong khi cần thiết đảm bảo chỉ tiêu kinh tế và kỹ thuật của động cơ. Mỗi phương pháp giảm phát thải sẽ hướng đến một số thành phần khí thải nhất định. Những biện pháp nhằm giảm NO_x sẽ ít nhiều có tác động đến hàm lượng CO và CH_x , trong khi đó có thể gia tăng việc tạo muối. Vì thế lựa chọn giải pháp này hay giải pháp khác để cải thiện việc phát thải khí độc hại luôn được cân nhắc trong mối quan hệ tổng hòa các chất độc hại, hiệu quả sử dụng nhiên liệu và chi phí áp dụng.

Giải pháp giảm các thành phần độc hại trực tiếp trong trong xi lanh động cơ cho phép tác động trực tiếp đến sự hình thành các chất có hại trong quá trình đốt cháy nhiên liệu. Đặc tính quá trình cháy nhiên liệu trong xi lanh động cơ phụ thuộc nhiều yếu tố, trong số đó chủ yếu có liên quan đến tính không đồng nhất của trường nhiệt độ cả theo thể tích của buồng đốt lẫn thời gian [3].

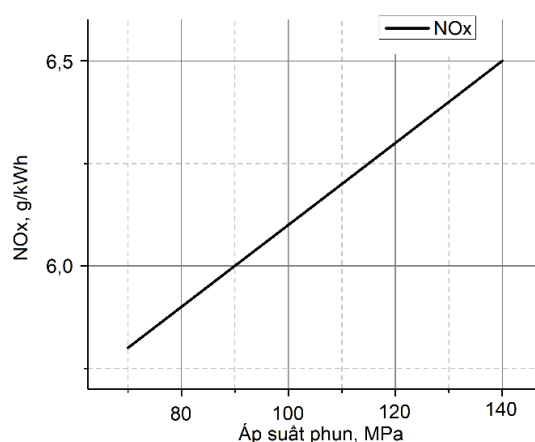
Nhiệt độ không khí nạp có ảnh hưởng đến phát thải NO_x , khi nhiệt độ không khí nạp tăng dẫn đến sự gia tăng nhiệt độ cháy trong buồng đốt, kết quả là phát thải NO_x tăng và độ khối giảm Hình 2. Do đó, trong các động cơ tăng áp dùng tuabin khí xả có làm mát không khí tăng áp cho phép cải thiện chỉ tiêu môi trường của động cơ. Theo [3], cứ giảm 10°C nhiệt độ của không khí nạp vào xi lanh sẽ giúp giảm khoảng 10% lượng NO_x tạo thành. Ngược lại, nhiệt độ không khí nạp tăng sẽ làm giảm tỷ trọng khí, dẫn

tới làm giảm lượng khí nạp vào động cơ, đồng thời làm tăng nhiệt độ cuối kỳ nén, dẫn tới làm tăng nhiệt độ cháy cực đại. Như vậy, tác động giảm nhiệt độ không khí nạp góp phần cải thiện quá trình cháy, giảm phát thải.



Hình 2. Ảnh hưởng của nhiệt độ khí nạp đến phát thải NO_x

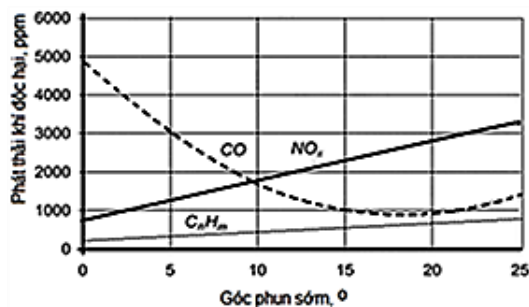
Các thông số cung cấp nhiên liệu cũng có ảnh hưởng đến quá trình đốt cháy chúng và theo đó là thành phần độc hại: áp suất phun, chu kỳ cấp nhiên liệu, góc phun sớm và quy luật phun. Độ mịn của nhiên liệu phụ thuộc vào áp suất phun. Hỗn hợp nhiên liệu không khí phân tán mịn đốt cháy nhanh hơn và hoàn toàn hơn sẽ thu được các chỉ số tốt nhất về hiệu quả nhiên liệu và độ khói. Tuy nhiên, nhiệt độ cháy tăng dẫn đến phát thải các oxit nitơ tăng lên (Hình 3).



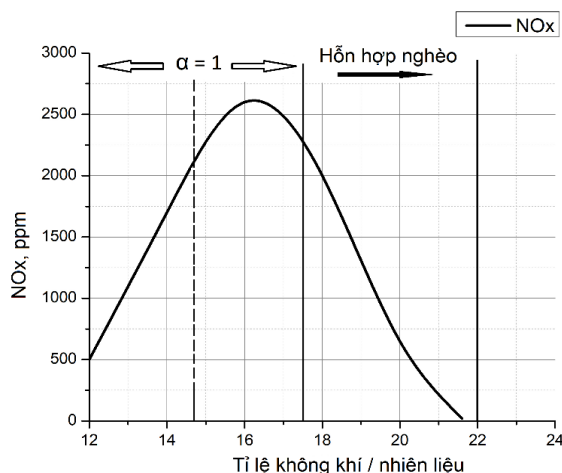
Hình 3. Ảnh hưởng của áp suất phun nhiên liệu đến phát thải NO_x

Nghiên cứu [2, 4] cho thấy việc hình thành NO_x phụ thuộc đáng kể vào độ lớn góc phun sớm. Điều này có thể giải thích, khi giảm góc phun sớm nhiệt độ cháy cực đại và thời gian tỏa nhiệt sẽ giảm. Vì thế giảm góc phun sớm hàm lượng NO_x sẽ giảm, tuy nhiên theo logic thì phát thải CO, CH_x và muối đều

tăng (Hình 4). Bên cạnh đó, giảm góc phun sớm để giảm phát thải NO_x cũng tác động tiêu cực đến hiệu quả sử dụng nhiên liệu của động cơ. Theo kết quả nghiên cứu [4] nếu giảm góc phun sớm 10° vòng quay trục khuỷu ở chế độ định mức hàm lượng NO_x trong khí xả giảm 60%, hiệu quả sử dụng nhiên liệu giảm 10% trong khi lượng muội tăng 100%. Có thể thấy hầu hết mọi biện pháp nhằm giảm phát thải NO_x đều dẫn đến giảm hiệu quả sử dụng nhiên liệu.



Hình 4. Sự phụ thuộc của phát thải khí độc hại vào góc phun sớm.



Hình 5. Ảnh hưởng của tỉ số nhiên liệu/không khí đến phát thải NO_x

Lượng không khí cấp vào buồng đốt động cơ cũng có ảnh hưởng đáng kể đến hàm lượng NO_x trong khí thải. Khi đốt cháy hỗn hợp giàu phát thải NO_x sẽ giảm do có liên quan đến việc thiếu oxy tự do [2]. Tại thời điểm mà tỷ lệ nhiên liệu không khí xấp xỉ 16: 1, nồng độ NO_x đạt đến giá trị tối đa (Hình 5). Điều này là do sự gia tăng nhiệt độ trong buồng đốt - điều kiện thuận lợi cho quá trình hình thành NO_x dẫn đến nồng độ của chất thải này đạt giá trị tối đa. Tiếp tục gia tăng lượng không khí cấp vào buồng đốt sẽ khiến nồng độ NO_x có xu hướng giảm.

3. Giảm phát thải NO_x bằng phương pháp cấp không khí nén

Những phân tích ở trên cho thấy rằng hệ số của không khí thừa α có ảnh hưởng đáng kể đến độc tính

của khí thải. Nồng độ của các oxit nitơ sau khi đạt cực đại có xu hướng giảm dần khi tăng lượng không khí cấp (Hình 5). Điều này là do phần lớn NO_x được hình thành trong một khoảng thời gian ngắn, chủ yếu trong giai đoạn thứ hai của quá trình đốt cháy nhiên liệu, cùng với sự gia tăng lượng không khí cấp thì nhiệt độ trong buồng đốt giảm, trong khi nhiệt độ cao chính là nguyên nhân để hình thành NO_x .

Như vậy, một trong các giải pháp hiệu quả giảm phát thải khí độc hại từ động cơ diesel trong khi đảm bảo tính kinh tế chính là tìm ra giá trị hệ số không khí thừa tối ưu.

$$\alpha = \frac{G_{kk}}{L_o g_e N_e} \quad (1)$$

Trong đó:

G_{kk} - lượng không khí cấp cho động cơ trong 1 giờ, kg/h;

L_o - lượng không khí lý thuyết để đốt cháy hết 1 kg dầu diesel, kg/kg;

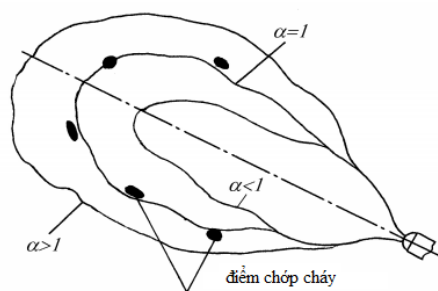
g_e - suất tiêu hao nhiên liệu, kg/kWh;

N_e - công suất có ích động cơ, kW.

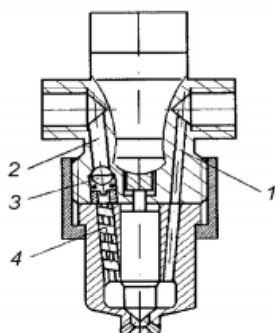
Từ công thức (1) thấy rằng giá trị của hệ số không khí thừa α tối ưu có thể đạt được thông qua điều chỉnh cấp nhiên liệu hoặc không khí. Thực tế khai thác hiện nay hệ số không khí thừa thường được duy trì theo cách điều chỉnh cấp nhiên liệu, tuy nhiên phương pháp này làm giảm khả năng tăng tốc của động cơ, giai đoạn quá độ diễn ra lâu, đặc biệt quá trình tăng tải bị chậm trễ đáng kể. Do đó, điều chỉnh lượng không khí cung cấp cho động cơ có những lợi thế nhất định.

Nhiên liệu được phun vào buồng đốt động cơ diesel ở dạng chùm, bắt đầu ở khoảng 15-25° vòng quay trục khuỷu trước điểm chết trên và diễn ra trong 20-35°. Khi nhiên liệu được phun vào trong buồng đốt do cấu trúc đặc trưng của chùm nhiên liệu dẫn đến sự phân bố không đồng đều của hỗn hợp nhiên liệu không khí. Hệ số không khí thừa trong buồng đốt động cơ không là một hằng số theo thời gian và thể tích. Ngay cả phía bên trong ngọn lửa hệ số α cũng là một biến. Thực tế không có không khí trong lõi của ngọn lửa, trong đó chủ yếu là các giọt nhiên liệu, do đó trong vùng này $\alpha \approx 0$, càng xa lõi càng có nhiều không khí trong hỗn hợp, do đó $\alpha \approx 1$ tại điểm chớp cháy. Không gian giữa các chùm nhiên liệu chỉ có không khí nên $\alpha \rightarrow \infty$. Việc cấp khí nén vào buồng đốt động cơ cùng với nhiên liệu sẽ làm tăng hệ số không khí thừa, giúp quá trình hòa trộn nhiên liệu và không khí diễn ra nhanh, đều hơn và cải thiện mật độ không khí tại tâm chùm nhiên liệu. Lượng không khí

cấp cùng nhiên liệu đồng thời làm giảm nhiệt độ cháy cực đại trong buồng đốt giúp cải thiện chỉ số phát thải khí độc hại.



Hình 6. Mô hình phát triển chùm nhiên liệu



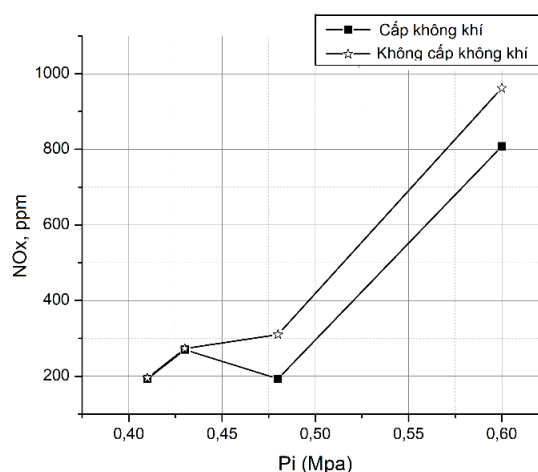
Hình 7. Vòi phun nhiên liệu kép

1 - Đường cấp nhiên liệu; 2 - đường cấp không khí;
3 - van 1 chiều; 4 - vít điều chỉnh.

Để cấp thêm không khí vào trong buồng đốt động cơ có thể sử dụng vòi phun được giới thiệu trong nghiên cứu của A.E. Svistul [5]. Vòi phun nhiên liệu này được thiết kế để động cơ làm việc với hỗn hợp nhiên liệu và chất phụ gia. Tuy nhiên, ta có thể sử dụng dạng vòi phun này để cung cấp hỗn hợp nhiên liệu - không khí và trong buồng đốt đồng thời. Trong đó không khí và nhiên liệu được cấp vào trong buồng đốt theo hai nhánh riêng biệt có van một chiều giúp ngăn nhiên liệu đi vào đường không khí. Nhiên liệu và không khí được hòa trộn ở khoang hòa trộn trên đầu vòi phun (Hình 7). Kết quả là nhiên liệu được phun vào buồng đốt ở dạng hỗn hợp nhiên liệu - không khí.

Thí nghiệm cung cấp không khí có áp lực cao vào buồng đốt động cơ ở thời điểm phun nhiên liệu được thực hiện trên động cơ không tăng áp 4NVD24 lai máy phát điện làm việc theo đặc tính tải. Động cơ làm việc với số vòng quay cố định, lượng nhiên liệu cấp cho động cơ tự động điều chỉnh theo tải thông qua thanh răng nhiên liệu. Tải của động cơ được cố định thông qua điều chỉnh cường độ dòng điện và hiệu điện thế trên bảng điều khiển. Thử nghiệm tiến

hành trên cùng một xy lanh của động cơ, vòi phun được thay mới, cảm biến áp suất khí được lắp trên van chỉ thị và cảm biến áp suất lắp trên ống cao áp của đường cấp nhiên liệu. Trong quá trình thử nghiệm đồng thời tiến hành đo lượng nhiên liệu tiêu thụ, thời gian, nhiệt độ khí thải, nhiệt độ nước làm mát và nồng độ các chất khí độc hại. Các thông số bên trong buồng đốt xác định bằng thiết bị HLV 2005 MK của hãng Baewert GMBH. Kết quả thử nghiệm ở các chế độ tải khác nhau thể hiện trên Hình 8.



Hình 8. Sự phụ thuộc của nồng độ NO_x vào tải động cơ

Từ kết quả thử nghiệm có thể đưa ra một số nhận xét như sau:

- Ở chế độ tải thấp việc cấp thêm không khí vào buồng đốt có tác động rất nhỏ đến phát thải NO_x ;

- Hiệu quả của không khí cấp thêm vào buồng đốt thực sự ghi nhận khi động cơ làm việc ở gần chế độ tải định mức. Ở giá trị áp suất chỉ thị trung bình $P_i = 0,48$ Mpa, cung cấp không khí cùng nhiên liệu đã giúp giảm nồng độ NO_x 37,8%, áp suất cháy cực đại P_z giảm 0,27 Mpa tương ứng 5,6%;

- Tiếp tục tăng tải động cơ, lượng phát thải NO_x tăng và không còn phụ thuộc nhiều vào việc cấp bổ sung không khí.

Kết quả này một lần nữa khẳng định việc hình thành NO_x chịu ảnh hưởng của hệ số không khí thừa. Khi cung cấp thêm không khí vào buồng đốt đã tạo ra sự thay đổi, hệ số không khí thừa α tăng đồng thời nhiệt độ cháy cực đại giảm làm giảm lượng NO_x được tạo thành. Nồng độ NO_x trong khí thải giảm còn có thể giải thích do chất lượng phun nhiên liệu được cải thiện khi cấp cùng không khí có áp lực cao. Sự có mặt của không khí tạo ra các bọt khí trong nhiên liệu làm yếu đi sức căng bề mặt và độ bám dính của nhiên liệu, từ đó bọt khí góp phần phân nhỏ các hạt nhiên liệu khi chúng rời khỏi vòi phun.

4. Kết luận

Như vậy, các yếu tố chính ảnh hưởng đến phát thải NO_x trong khí thải động cơ diesel là nhiệt độ cháy cực đại, thời gian cháy ở nhiệt độ cao và trạng thái hòa trộn của hỗn hợp không khí - nhiên liệu. Cấp trực tiếp không khí vào trong buồng đốt cùng với nhiên liệu ở thời điểm phun là giải pháp đồng thời giải quyết được nhiều vấn đề bao gồm: tăng tỉ lệ không khí/nhiên liệu, không khí được phân bố đều hơn trong buồng đốt, cải thiện chất lượng phun nhiên liệu và giảm nhiệt độ cháy cực đại. Không khí cấp bổ sung cùng với nhiên liệu giúp xé nhỏ hơn các hạt dầu, hạn chế các vùng thiếu oxy cục bộ gần vòi phun, các bóng khí nằm xen lẫn trong chùm nhiên liệu là nguồn bổ sung oxy và tạo ra các điểm chớp cháy mới. Giải pháp này làm tăng hiệu quả quá trình cháy nhiên liệu đồng thời giảm phát thải khí độc hại ra môi trường, đáp ứng các yêu cầu ngày càng nghiêm ngặt của tổ chức Hàng hải quốc tế và các quốc gia thành viên.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này là sản phẩm của đề tài nghiên cứu khoa học cấp Trường năm học 2019-2020: “Nghiên cứu giảm phát thải khí độc hại động cơ trung tốc bằng cách cấp khí nén vào buồng đốt ở thời điểm phun nhiên liệu”, được hỗ trợ kinh phí bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Phạm Hữu Tân. *Mô hình tính toán quá trình cháy và quá trình hình thành NO_x trong buồng đốt động cơ diesel có hồi lưu khí xả*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải Số 31 (8/2012), tr.25-39, 2012.
- [2] Strauss, Sebastian, and Yangbing Zeng. *The Effect of Fuel Spray Momentum on Performance and Emissions of Direct-Injected Two-Stroke Engines*. SAE transactions: pp.2146-2157, 2004.
- [3] Альферович. В. В. *Токсичность двигателей внутреннего сгорания*. Минск-БНТУ. 56 р, 2016
- [4] *Перспективные технологии снижения выбросов NO_x судовых дизелей (материалы конгресса CIMAC 2013)*. Двигателестроение., № 2. pp. 38-54, 2014.
- [5] Свистула А.Е. *Повышение показателей рабочего процесса дизеля улучшением смесеобразования и сгорания*: автореф. дис.... докт. техн. наук. Барнаул, 2007. 35 с.

Ngày nhận bài:	21/04/2020
Ngày nhận bản sửa:	08/05/2020
Ngày duyệt đăng:	19/05/2020