CHUYỂN ĐỔI CÁC ĐỘNG CƠ DIESEL TÀU THỦY CỠ NHỎ SANG SỬ DỤNG NHIÊN LIỆU CNG NHẰM GIẢM THIỂU Ô NHIỄM MÔI TRƯỜNG

CHANGE TO USE CNG FUEL FOR DIESEL ENGINES OF SMALL SHIPS IS A METHOD TO DECREASE ENVIRONMENTAL POLLUTION

TS. PHẠM HỮU TÂN
Khoa Máy tàu biển, Trường ĐHHH

Tóm tắt

Hiện nay vấn đề ô nhiễm môi trường do khí thải của các động cơ tàu thủy gây ra đang là một vấn đề đáng quan tâm. Đã có rất nhiều các giải pháp đưa ra nhằm giảm thiểu ô nhiễm môi trường do các động cơ diesel tàu thủy gây ra. Một trong các phương pháp đó là chuyển đổi động cơ diesel sang sử dụng khí CNG. Sau đây bài báo sẽ đề cập tới phương pháp chuyển đổi động cơ diesel sang sử dụng nhiên liệu CNG là phương pháp sử dụng buồng đốt phụ và đánh lửa bằng bugi. Bài báo cũng đi tính toán quá trình hình thành NO_x trong động cơ có buồng đốt phụ và so sánh chất lượng khí thải của động cơ sử dụng nhiên liệu CNG với động cơ sử dụng dầu diesel truyền thống.

Abstract

Today, environmental pollution from exhaust gas of diesel engines is problem. There are many methods to decrease environmental pollution from exhaust gas of diesel engines. One of methods is change to use CNG fuel for diesel engine. This article will prefer to a method of spark ignition prechamber engine. Article also calculates NO_X formation processes in engine with prechamber and compares quality of exhaust gas of engine using CNG fuel with the traditional diesel engine.

1. Đặt vấn đề

Các loại động cơ diessel cỡ nhỏ được sử dụng rộng rãi dưới tàu thủy làm động cơ chính cho các phương tiện thủy như: tàu khách, tàu vận tải cỡ nhỏ, tàu công trình …Hiện nay các loại tàu này là phương tiện chính trong vận tải thủy nội địa. Động cơ của các phương tiện này sử dụng nhiên liệu chính là dầu diesel với giá thành chi phí rất cao. Mặt khác khi sử dụng nhiên liệu là dầu diesel sẽ làm tăng ô nhiễm môi trường không khí. Đã có rất nhiều các đề tài, các công trình nghiên cứu trong và ngoài nước để giảm thiểu ô nhiễm môi trường cho các động cơ diesel tàu thủy. Một trong các phương án đó là sử dụng nhiên liệu là khí tự nhiên nén (CNG). Tuy nhiên CNG mới chỉ được áp dụng cho các động cơ ô tô, còn đối với động cơ tàu thủy ở Việt Nam vẫn chưa được ứng dụng. Để ứng dụng cho các động cơ diesel tàu thủy công suất nhỏ ta có thể sử dụng một trong các phương pháp sau.

Chuyển đổi động cơ diesel sang động cơ khí gas có đánh lửa bằng bugi. Đặc điểm của loại động cơ này giống như động cơ xăng, khí gas được cấp vào động cơ trên đường ống nạp. Phương pháp này chỉ phù hợp cho loại động cơ có công suất dưới 200 kW.

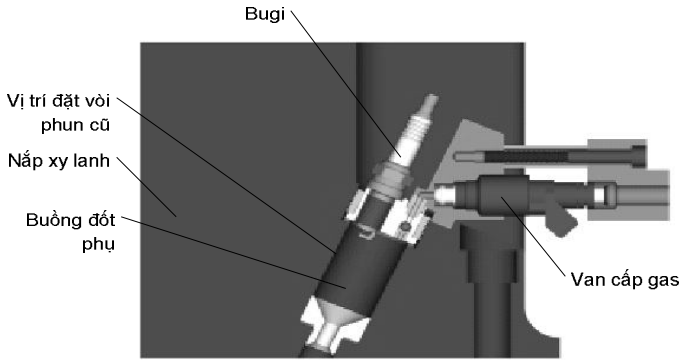
Động cơ khí gas có buồng đốt phụ đánh lửa bằng bugi. Đặc điểm của loại động cơ có buồng đốt phụ là việc điểm lửa diễn ra ở buồng đốt phụ, sau đó quá trình cháy diễn ra ở buồng đốt chính sau. Như vậy khi quá trình cháy mãnh liệt thì piston đã qua điểm chết trên nên áp suất cháy cực đại không cao. Loại động cơ có buồng đốt phụ có thể áp dụng cho các động cơ công suất trên 200 kW.

Động cơ khí gas sử dụng lượng nhỏ dầu diesel để đốt mồi (dual fuel). Đây là loại động cơ sử dụng song song hai loại nhiên liệu. Ưu điểm phương pháp này là hầu như không phải thay đổi gì về kết cấu của động cơ. Động cơ có thể sử dụng song song hai loại nhiên liệu. Tuy nhiên loại động cơ này cũng giống loại động cơ đánh lửa bằng bugi là toàn bộ nhiên liệu cháy tập trung ở lân cận điểm chết trên nên áp suất cháy cực đại rất lớn.

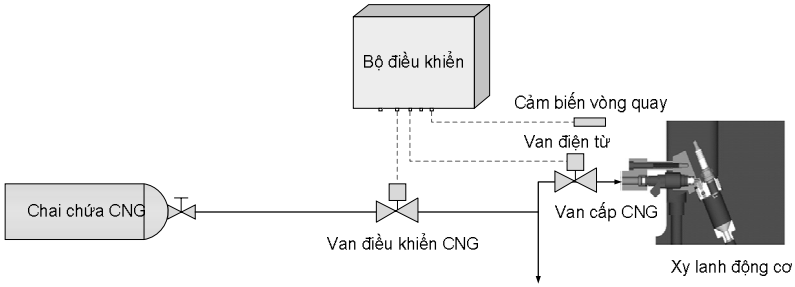
Do tính ưu việt của loại động cơ khí gas có buồng đốt phụ, đánh lửa bằng bugi nên rất nhiều động cơ của trạm phát điện trên bộ công suất lớn của Nga sử dụng loại động cơ này.

2. Phương pháp chuyển đổi

Đối với loại động cơ diesel chuyển sang sử dụng khí gas có buồng đốt phụ, đánh lửa bằng bugi là ta thay vòi phun dầu diesel bằng bộ van cấp khí gas và bugi đặt trong một buồng đốt phụ như (hình 1). Như vậy loại động cơ này khi chuyển sang sử dụng CNG là hệ thống cung cấp nhiên liệu cũ không sử dụng nữa. Muốn sử dụng lại ta phải tháo cụm buồng đốt CNG và lắp lại vòi phun nhiên liệu. Hệ thống cung cấp CNG được thể hiện trên (hình 2).



Hình 1. Buồng đốt phụ của động cơ.



Hình 2. Hệ thống cung cấp CNG cho động cơ.

3. Tính toán quá trình hình thành NO_X trong động cơ khí CNG có buồng đốt phụ

Để tính toán quá trình hình thành NO_X trong động cơ sử dụng nhiên liệu CNG ta tiến hành tính toán theo các bước sau:

Xác định hệ số dư lượng không khí trong buồng đốt phụ:

$$\alpha_f = \frac{M_f}{M_0 q_c (1+\gamma)} \quad (1)$$

Trong đó: M_f là số mol sản phẩm cháy trong buồng đốt phụ;
M_0 số mol không khí trong buồng đốt phụ;
q_c là lượng nhiên liệu cháy trong buồng đốt phụ;
γ là lượng khí sót trong buồng đốt phụ.

Xác định nhiệt dung riêng mol thực tế của hỗn hợp khí cháy trong các buồng đốt:

$$mc_p = r_{cp} mc_{pcp} + (1 - r_{cp}) mc_{pcm}, \quad (2)$$

Trong đó r_{cp} – thành phần mol của sản phẩn cháy trong các buồng đốt;
mc_{pcp} – nhiệt dung riêng của sản phẩm cháy trong buồng đốt KJ/Kg.^{0}K;
mc_{pcm} – nhiệt dung riêng của hỗn hợp khí sạch KJ/Kg.^{0}K;
Xác định số mũ đoạn nhiệt:

$$k = \frac{mc_p}{mc_p - 8.314} \quad (3)$$

Xác định áp suất trong các buồng đốt trong quá trình cháy:

$$p_i = p_{i-1} + \Delta p, \quad (4)$$

Trong đó p_{i-1} – áp suất trong các buồng cháy tại thời điểm đang xét;

Δp - Sự thay đổi áp suất trong khoang công tác;

Tính số mol của khí xả theo công thức:

$$M_i = M_{i-1} + \Delta M \quad (5)$$

Trong đó M_{i-1} – số mol của khí xả khi bắt đầu tính toán; ΔM – sự thay đổi lượng khí xả trong quá trình.

Số mol của sản phẩm cháy được tính theo công thức:

$$M_{cp} = M_{cp_{i-1}} + \Delta M_{cp}, \quad (6)$$

Trong đó $M_{cp\ i-1}$ – Lượng sản phẩm cháy trong các buồng đốt; ΔM_{CP} sự thay đổi lượng sản phẩm cháy trong chu trình.

Xác định thành phần của sản phẩm cháy trong các buồng đốt:

$$r_{cp} = \frac{M_{cp}}{M}, \quad (7)$$

Từ phương trình cân bằng năng lượng của sản phẩm cháy, của hỗn hợp không không khí sạch và của không khí cấp vào ta tính được nhiệt độ của sản phẩm cháy theo công thức:

$$T_{cp} = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4a\left\{\frac{1-r_{cp}}{r_{cp}}\left[H_{cm}(T_{cm}) - H_{cm}(T)\right] - aT^2 - bT\right\}}}{2a} \quad (8)$$

Trong đó a, b là các hệ số tính toán, $H_{cm}(T_{cm})$ entanpi của hỗn hợp khí sạch cuối quá trình nén và $H_{cm}(T)$ là entanpi của hỗn hợp khí sạch tại thời một thời điểm.

$$b = a_{01} + a_{12}\alpha + a_{13}p$$

Theo lý thuyết nhiệt của J.B.Zeldovich [27,28,53], sự hình thành NO_x được thể hiện bằng các phương trình phản ứng sau:

$$\mathrm{N_2 + O \Leftrightarrow NO + N - 316\ kJ}, \quad (9)$$

$$\mathrm{N + O_2 \Leftrightarrow NO + O + 135\ kJ}. \quad (10)$$

Phương trình xác định tốc độ hình thành NO được thể hiện trong công thức sau đây:

$$\frac{dr_{\mathrm{NO}}}{d\tau} = \frac{p}{41.6\cdot 10^5 T_{cp}} \frac{K_{1f} r_{\mathrm{N_2}} r_{\mathrm{O}}}{1 + \frac{K_{1b}}{K_{2f}} \frac{r_{\mathrm{NO}}}{r_{\mathrm{O_2}}}} \left(1 - \frac{r_{\mathrm{NO}}^2}{K r_{\mathrm{N_2}} r_{\mathrm{O_2}}}\right), \quad (11)$$

Trong đó $r_{\mathrm{NO}}, r_{\mathrm{N_2}}, r_{\mathrm{O}}, r_{\mathrm{O_2}}$, - thành phần thể tích của NO, N_2, O, O_2;

K_{1f}, K_{1b}, K_{2f} – các hệ số phản ứng được xác định bằng các công thức sau:

$$K_{1f} = 1.36\cdot 10^{14} e^{-\frac{37985}{T_{cp}}}, \quad (12)$$

$$K_{1b} = 3.12\cdot 10^{13} e^{-\frac{202}{T_{cp}}}, \quad (13)$$

$$K_{2f} = 1.33\cdot 10^{10} T_{cp} e^{-\frac{3567}{T_{cp}}}. \quad (14)$$

K – hệ số cân bằng phản ứng $N_2 + O_2 = 2NO$;

p – áp suất.

Xác định tỷ lệ NO trong sản phẩm cháy tại các buồng cháy theo công thức sau:

$$r_{NOe} = \frac{M_{cpform}\Delta r_{NOform} + M_{cpb}\left(r_{NOb} + \Delta r_{NO}\right)}{M_{cp}}, \quad (15)$$

Trong đó $M_{cpform} = \alpha M_0 q_c \beta \Delta x$ - lượng sản phẩm cháy hình thành trong các buồng đốt tương ứng lượng nhiên liệu đốt trong các buồng đốt đó.

r_{NOform} – sự thay đổi lượng NO hình thành trong vùng cháy, M_{cpb} – lượng sản phẩm cháy hình thành trong thời kỳ đầu của quá trình cháy, r_{NOb} – tỷ lệ NO trong sản phẩm bắt đầu cháy; r_{NO} - tỷ lệ NO thay đổi trong sản phẩm cháy, M_{cp} – lượng sản phẩm cháy khi kết thúc quá trình cháy,.

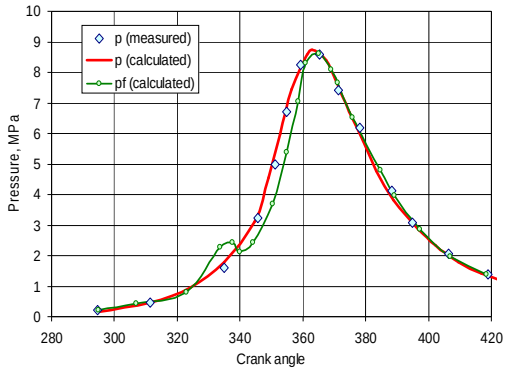
Tỷ lệ NO trong khí xả của động cơ được tính theo công thức sau

$$r_{cp}^{eng} = \frac{M_f r_{NOf} + M_c r_{NOc}}{M_f + M_c}, \quad (16)$$

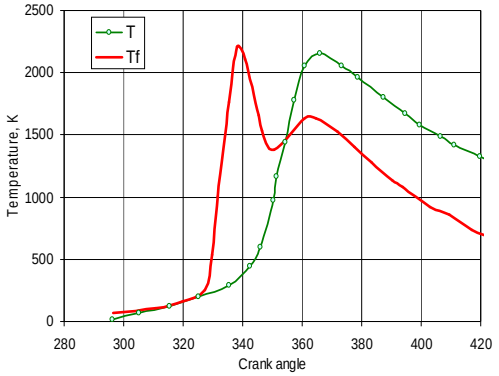
Trong đó r_{NOf}, r_{NOc} – thành phần thể tích của NO trong các buồng cháy. M_f, M_c – Lượng khí cháy trong các buồng đốt.

Từ các bước tính toán trên ta đi xây dựng phần mềm tính toán cho các động cơ cụ thể.

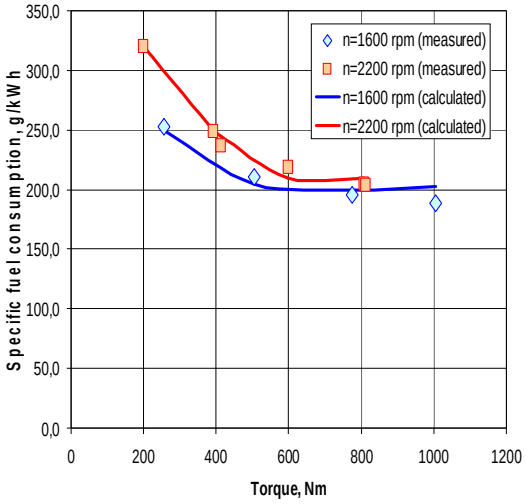
3. Kết quả và thảo luận



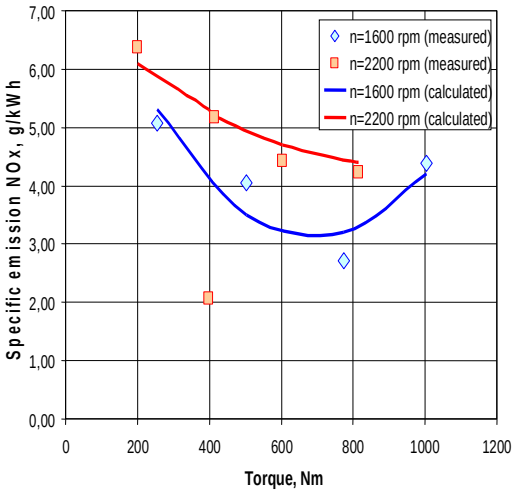
Hình 3. Sự thay đổi áp suất trong xy lanh p và trong buồng đốt phụ p_f của động cơ MTU-396



Hình 4. Sự thay đổi nhiệt độ trong xy lanh T và trong buồng đốt phụ T_f của động cơ MTU-396



Hình 5. Sự thay đôi suất tiêu hao nhiên liệu theo mô men trên trục của động cơ MTU-396



Hình 6. Sự thay đổi NOx theo mô men trên trục của động cơ MTU-396

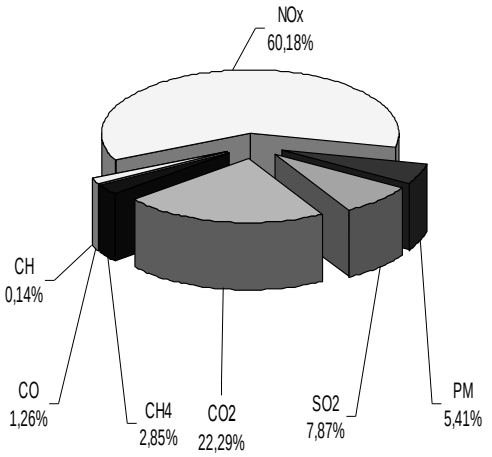
Xét cụ thể cho động cơ MTU-396 với 6 xy lanh, đường kính xy lanh là 165 mm, hành trình piston là 185 mm, tỷ số nén 13.5. Kết quả tính toán cho động cơ MTU-396 được thể hiện trên các đồ thị (hình 3, hình 4, hình 5, hình 6, hình 7, hình 8). Trong đó hình 3 và hình 4 thể hiện sự thay đổi áp suất và nhiệt độ trong buồng đốt phụ và trong xy lanh của động cơ MTU-396 sử dụng nhiên liệu CNG. Trên hình 5 và hình 6 thể hiện sự thay đổi suất tiêu hao nhiên liệu và suất phát sinh NO_X theo mô men trên trục của động cơ MTU-396 sử dụng nhiên liệu CNG.

Trên hình 6 và hình 7 so sánh thành phần độc tố trong khí xả của động cơ MTU-396 có buồng đốt phụ sử dụng nhiên liệu CNG và động cơ diesel MTU-396 không có buồng đốt phụ

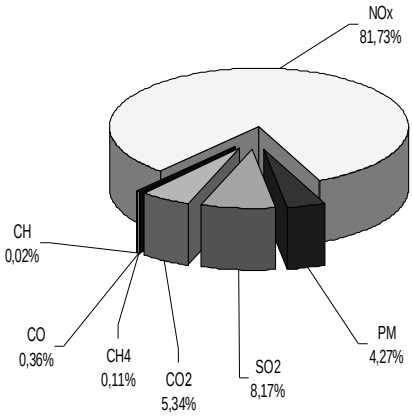
Qua kết quả trên ta thấy rằng đối với động cơ MTU-396 khi chuyển sang sử dụng khí CNG với loại động cơ có buồng đốt phụ thì áp suất cháy cực đại và nhiệt độ cháy cực đại thấp, suất tiêu hao nhiên liệu và NO_X giảm đi rất nhiều so với khi sử dụng nhiên liệu là dầu diesel. Ngoài ra các độc tố trong khí xả cũng giảm rất nhiều. Các kết quả được thể hiện trên hình 7 và hình 8.

4. Kết luận

Như vậy khi chuyển đổi động cơ diesel sang sử dụng khí CNG cho các động cơ tàu thủy cỡ nhỏ sẽ làm giảm được ô nhiễm môi trường do khí xả của động cơ diesel tàu thủy gây ra.



Hình 7. Phân bố thành phần các độc tố trong sản phẩm cháy của động cơ MTU-396 sử dụng nhiên liệu CNG



Hình 8. Phân bố thành phần các độc tố trong sản phẩm cháy của động cơ MTU-396 sử dụng dầu diessel

Khi chuyển đổi động cơ sang loại động cơ sử dụng nhiên liệu CNG với động cơ có buồng đốt phụ đánh lửa bằng bugi thì áp suất cháy cực đại sẽ không quá cao, chính vì vậy có thể áp dụng cho các động cơ có dải công suất khác nhau.

Khi chuyển đổi động cơ diesel sang động cơ CNG có buồng đốt phụ thì không phải thay đổi gì về kết cấu của động cơ nên giá thành chuyển đổi rẻ, phù hợp với điều kiện của Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Звонов В.А. Корнилов Г.С., Заиграев Л.С. Методика расчета рабочего процесса и образования оксидов азота в цилиндре дизеля с неразделенной камерой сгорания // Проблемы конструкции двигателей и экология: Сб. Научн. Тр.НАМИ. –М., 1999. –С.205-221.

[2] Звонов В.А. Фурса В.В. Методика расчета окислов азота в цилиндре дизеля // Двигатели внутренего сгорания.-1976.-Вып.24.- С. 102-107.

[3] Phạm Hữu Tân. Full life cycle assessment of efficiency of using natural gas in stationary power-plants. Luận văn tiến sỹ, 2006.

Người phản biện: TS. Nguyễn Huy Hào