



ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT ĐỘ KHÍ NẠP ĐẾN HIỆU SUẤT VÀ PHÁT THẢI CỦA ĐỘNG CƠ IAMZ-236

Dương Quốc Cường^{1*}, Lương Đình Thi², Đào Trọng Thắng³

Tóm tắt: Bài báo xây dựng mô hình nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ khí nạp đến hiệu suất cũng như mức độ phát thải ra môi trường của động cơ IAMZ-236 bằng phần mềm GT-Power, từ đó có những giải pháp phù hợp khi tổ chức tăng áp cho loại động cơ này. Kết quả nghiên cứu tại tốc độ định mức 2100 vòng/ph và 100% tải cho thấy, khi nhiệt độ khí nạp tăng thì nhiệt độ lớn nhất trong buồng đốt tăng và mật độ khí nạp giảm, dẫn đến hiệu suất động cơ giảm và hàm lượng phát thải NO_x tăng. Do đó việc tổ chức làm mát cho khí nạp không chỉ có tác dụng cải thiện hiệu suất làm việc của động cơ mà còn làm giảm lượng phát thải NO_x , đồng thời do nhiệt độ lớn nhất bên trong buồng đốt giảm xuống nên làm giảm ứng suất và biến dạng nhiệt của các chi tiết xung quanh buồng đốt.

Từ khóa: Nhiệt độ; khí nạp; khí tăng áp; tăng áp.

Effect of intake air temperature on the performance and emissions of IAMZ-236 engine

Abstract: This paper has built IAMZ-236 engine modeling by using GT-Power software to evaluate the effect of the intake air temperature on the performances and emissions. Thus, the suitable solution is proposed when the engine is boosted by using turbochargers. In this study report, at rated speed 2100 rpm and full load conditions, when the intake air temperature increased, the in-cylinder peak temperature rised and the intake air density decreased, leading to reduce engine performances and increase NO_x emission content. The overall results show that, if intake air is cooled by intercooler, IAMZ-236 engine not only improves the performance but also reduces NO_x emissions. On the other hand, the in-cylinder peak temperature decreased leads to reduce thermal stress and strain of the elements of the combustion chamber.

Keywords: Temperature; intake air; boost air; turbocharger.

Nhận ngày 10/5/2017; sửa xong 8/6/2017; chấp nhận đăng 23/6/2017
Received: May 10, 2017; revised: June 8, 2017; accepted: June 23, 2017



1. Đặt vấn đề

Khi thực hiện tăng áp cho động cơ diesel thì nhiệt độ của khí nạp (T_k) tăng cao. Nhiệt độ này phụ thuộc vào các yếu tố như: mức độ tăng áp, hiệu suất và tổn thất tản nhiệt của máy nén [1]. Diễn biến nhiệt độ của chu trình công tác động cơ diesel phụ thuộc rất nhiều vào nhiệt độ môi chất đầu quá trình nén, do đó phụ tải nhiệt của động cơ cũng phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ của khí nạp. Mức độ tăng áp của máy nén càng cao thì nhiệt độ khí nạp càng lớn, do vậy làm thay đổi các thông số kỹ thuật cũng như ảnh hưởng đến mức độ phát thải của động cơ trước và sau khi tăng áp [2]. Động cơ IAMZ-236 là động cơ chưa tăng áp được sử dụng phổ biến trên các phương tiện đặc chủng. Trước yêu cầu cấp thiết hiện nay là phải nâng cao tính năng cơ động của loại phương tiện này nên cần phải tiến hành nghiên cứu cường hóa công suất cho động cơ IAMZ-236 lắp trên xe. Khi tăng áp cho động cơ thì nhiệt độ khí nạp sau máy nén tăng cao, do đó việc tổ chức nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ khí nạp sau tăng áp đến các thông số kỹ thuật và phát thải động cơ là hết sức cần thiết. Nội dung của bài báo là trình bày cách thiết lập mô hình tăng áp cho động cơ IAMZ-236 bằng phần mềm mô phỏng GT-Power và tính toán ảnh hưởng của nhiệt độ khí nạp sau tăng áp đến hiệu suất động cơ và các thông số về phát thải NO_x , muội than ra môi trường. Từ đó đưa ra những giải pháp nhằm nâng cao hiệu quả khi tổ chức tăng áp cho động cơ này.

¹ThS, Khoa Động lực, Học viện Kỹ thuật quân sự.

²TS, Khoa Động lực, Học viện Kỹ thuật quân sự.

³GS.TS, Khoa Động lực, Học viện Kỹ thuật quân sự.

*Tác giả chính. Email: quoccuongqd13501@yahoo.com.



2. Xây dựng mô hình động cơ IAMZ-236 tăng áp trong phần mềm GT-Power

2.1 Giới thiệu động cơ IAMZ-236

Động cơ IAMZ-236 nguyên bản là động cơ diesel 4 kỳ, các xy lanh được bố trí kiểu chữ V, bơm cao áp phun nhiên liệu kiểu Bosch, do Nga chế tạo. Các thông số kỹ thuật chính của động cơ được thể hiện trên Bảng 1.

Bảng 1. Các thông số kỹ thuật chính của động cơ IAMZ-236

TT	Thông số	Giá trị	Đơn vị	TT	Thông số	Giá trị	Đơn vị
1	Số xi lanh	6	-	9	Góc mở sớm xu páp thải	56	độ
2	Đường kính xi lanh	130	mm	10	Góc đóng muộn xu páp thải	20	độ
3	Hành trình pít tông	140	mm	11	Tốc độ định mức	2100	v/ph
4	Chiều dài thanh truyền	280	mm	12	Số vòi phun/xi lanh	1	-
5	Tỷ số nén	16,5	-	13	Số lỗ phun	7	-
6	Góc phun sớm	20	độ	14	Đường kính lỗ phun	0,25	mm
7	Góc mở sớm xu páp nạp	20	độ	15	Công suất định mức	132	kW
8	Góc đóng muộn xu páp nạp	56	độ	16	Suất tiêu hao nhiên liệu nhỏ nhất	245	g/kWh

2.2 Cơ sở lý thuyết tính toán quá trình cháy và phát thải của động cơ diesel

a) Mô hình cháy Vibe kép trong động cơ diesel

Tốc độ tỏa nhiệt của môi chất cháy trong xi lanh được xác định theo công thức Vibe [3]:

$$\frac{dx}{d\alpha} = \frac{\alpha}{\Delta\alpha_c} (m+1) \cdot y^m \cdot e^{-ay^{(m+1)}} \quad (1)$$

$$dx = \frac{dQ}{Q}; y = \frac{\alpha - \alpha_0}{\Delta\alpha_c} \quad (2)$$

trong đó: Q là tổng lượng nhiệt cấp vào; α là góc quay trục khuỷu; α_0 là thời điểm bắt đầu cháy; $\Delta\alpha_c$ là thời gian cháy; m là thông số hình dạng buồng cháy; a là thông số Vibe, $a = 6,9$ với quá trình cháy hoàn toàn. Phần nhiên liệu đã đốt cháy được tính toán qua tích phân phương trình Vibe là:

$$x = \int \frac{dx}{d\alpha} \cdot d\alpha = 1 - e^{-ay^{(m+1)}} \quad (3)$$

Mô hình cháy Vibe kép là hệ phương trình gồm hai phương trình Vibe đơn được sử dụng để tính gần đúng đặc tính tỏa nhiệt của động cơ sử dụng hỗn hợp nhiên liệu không đồng nhất.

$$x = x_1 + x_2 \quad \text{với} \quad x_1 = 1 - e^{-a_1 y_1^{(m+1)}}; x_2 = 1 - e^{-a_2 y_2^{(m+1)}} \quad (4)$$

trong đó: a_1, a_2 là thông số Vibe của phương trình Vibe đơn thứ nhất và thứ hai.

b) Tính toán phát thải NO_x

Sự hình thành NO_x được tính toán dựa trên các thông số tốc độ động cơ, thành phần nhiên liệu, áp suất, nhiệt độ, hệ số dư lượng không khí, thể tích, thời gian cháy cũng như số vùng cháy. Các phản ứng của chuỗi Zeldovich với hệ số tốc độ trình bày trong Bảng 2 được sử dụng để tính toán lượng NO_x bắt đầu từ thời điểm xảy ra quá trình cháy. Trong khí thải NO_x của động cơ, N_2O chiếm tỷ lệ rất nhỏ và được tính theo công thức sau [4]:

$$\frac{N_2}{N_2\sqrt{O_2}} = 1,1802 \cdot 10^{-6} \cdot T_1^{0,6125} \exp\left[\frac{-18,71}{RT}\right] \quad (5)$$

$$C_{N_2O} = 1,1802 \cdot 10^{-6} \cdot T^{0,6125} \cdot e^{\frac{94716}{T}} \cdot C_{N_2} \sqrt{P_{O_2}} \quad (6)$$

Tốc độ hình thành và phân hủy NO (mol/cm^2) cũng được tính theo công thức [4]:

$$r_{NO} = 2(1 - \alpha^2) \left[\frac{r_1}{1 + \alpha AK_2} + \frac{r_4}{1 + AK_4} \right] \frac{P}{RT} \quad (7)$$

$$\text{Với: } \alpha = \frac{C_{NO}}{C_{NOe}}; AK_2 = \frac{r_1}{r_2 + r_3}; AK_4 = \frac{r_4}{r_5 + r_6} \quad (8)$$

C_{NOe} là nồng độ NO ở trạng thái cân bằng; P_{O_2} áp suất của các phân tử O_2 .

Bảng 2. Chuỗi phản ứng hình thành NO_x với hệ số tốc độ *k*

TT	Phản ứng	Tốc độ phản ứng	Hằng số tốc độ phản ứng	a [-]	T _A [K]
R1	N ₂ + O = NO + N	$r_1 = k_1 \cdot C_{N_2} \cdot C_O$	4,93E13	0,0472	38048,01
R2	O ₂ + N = NO + O	$r_2 = k_2 \cdot C_{O_2} \cdot C_N$	1,48E08	1,5	2859,01
R3	N + OH = NO + H	$r_3 = k_3 \cdot C_{OH} \cdot C_N$	4,22E13	0	0
R4	N ₂ O + O = NO + NO	$r_4 = k_4 \cdot C_{N_2O} \cdot C_O$	4,58E13	0	12130,6
R5	O ₂ + N ₂ = N ₂ O + O	$r_5 = k_5 \cdot C_{O_2} \cdot C_{N_2}$	2,25E10	0,825	50569,7
R6	OH + N ₂ = N ₂ O + H	$r_6 = k_6 \cdot C_{OH} \cdot C_{N_2}$	9,14E07	1,148	36190,66

c) Tính toán phát thải muội than

Phát thải muội than có thể tính theo mô hình Hiroyasu. Trong mô hình này, sự thay đổi của khối lượng soot qua công thức [5]:

$$\frac{dm_s}{dt} = \frac{dm_{s,f}}{dt} - \frac{dm_{s,ox}}{dt} \quad (9)$$

Phần tử thứ nhất và thứ hai của vế phải lần lượt là tốc độ hình thành soot và tốc độ oxy hóa. Hai phần tử này được tính theo công thức tương đương như sau:

$$\frac{dm_{s,f}}{dt} = A_f \cdot m_{f,v} \cdot P^{0,5} \cdot \exp\left[\frac{-E_{s,f}}{RT}\right] \quad (10)$$

$$\frac{dm_{s,ox}}{dt} = A_{ox} \cdot m_s \cdot \frac{P_{O_2}}{P} \cdot P^{1,8} \exp\left[\frac{-E_{s,ox}}{RT}\right] \quad (11)$$

trong đó: m_s là khối lượng soot; $m_{f,v}$ là khối lượng nhiên liệu bốc hơi; $E_{s,ox}$ là năng lượng oxy hóa; P_{O_2} là áp suất của các phân tử O₂; $E_{s,f}$ là năng lượng hoạt hóa; A_f , A_{ox} là các hằng số được lựa chọn theo kinh nghiệm và điều kiện động cơ cụ thể.

Đối với động cơ IAMZ-236, khối lượng soot phát ra và tốc độ hình thành muội than được tính theo các công thức trên, còn tốc độ oxy hóa muội than được tính theo công thức của Nagle-Strickland Constle dựa trên các phương trình phản ứng sau [5]:

$$A + O_2 \rightarrow A + 2CO; \quad \dot{w}_i = \frac{k_A \cdot P_{O_2}}{1 + k_z \cdot P_{O_2}} \cdot x \quad (12)$$

$$B + O_2 \rightarrow A + 2CO; \quad \dot{w}_{ii} = k_B \cdot P_{O_2} (1 - x) \quad (13)$$

$$A \rightarrow B; \quad \dot{w}_{iii} = k_\tau \cdot x \quad (14)$$

trong đó: x là tỷ lệ C trên bề mặt của phần tử A tham gia phản ứng; $\dot{w}_i$, $\dot{w}_{ii}$, $\dot{w}_{iii}$ là tốc độ phản ứng; A, B là các phần tử tham gia phản ứng. Với giả thiết $\dot{w}_{ii} = \dot{w}_{iii}$, khi đó x trở thành:

$$x = \left(1 + \frac{k_\tau}{k_B \cdot P_{O_2}}\right)^{-1} \quad (15)$$

Các hằng số tốc độ:

$$k_A = 20 \cdot \exp[-15,100K/T]; \quad k_B = 4,46 \cdot 10^{-3} \cdot \exp[-7,650K/T];$$

$$k_\tau = 1,51 \cdot 10^5 \cdot \exp[-48,800K/T]; \quad k_z = 21,3 \cdot \exp[+2,060K/T].$$

Tốc độ oxy hóa muội than ở công thức trên trở thành:

$$\frac{dm_{s,ox}}{dt} = \frac{6MW_c}{\rho_s \cdot D_s} \cdot m_s \cdot R_{tot} \quad (16)$$

trong đó: R_{tot} là hằng số tốc độ oxy hóa muội than, R_{tot} tính theo công thức [5]:

$$R_{tot} = \left(\frac{k_A \cdot P_{O_2}}{1 + k_z \cdot P_{O_2}}\right) \cdot x + k_B \cdot P_{O_2} (1 - x) \quad (17)$$

trong đó: MW_c là trọng lượng của phân tử C; ρ_s là mật độ của muội than, $\rho_s = 2000$ (kg/m³); D_s là đường kính của phân tử muội than đặc trưng, $D_s = 2,5 \cdot 10^{-8}$ (m).

Tổng quát nhất của cơ chế hai bước là tính tốc độ oxy hóa muội than theo công thức sau:

$$\frac{dm_{s,ox}}{dt} = A_{ox} \frac{1}{\tau_{trb}} m_s \left(\frac{P_{O_2}}{P_{O_2,ref}} \right)^{1,3} \exp \left[-\frac{15,000K}{T} \right] \quad (18)$$

2.3 Xây dựng mô hình tính trong GT-power

Hiện nay có rất nhiều phần mềm chuyên dụng được sử dụng để nghiên cứu tính toán mô phỏng chu trình công tác của động cơ như GT-Power, Diesel-RK, AVL-Boost, Ricardo Wave... Trước sự tin cậy, tiện dụng, đa dạng về bảng biểu, đồ thị, nhiều chế độ mô phỏng cũng như sự hỗ trợ đầy đủ các loại mô hình động cơ của thư viện dữ liệu [6] nên phần mềm GT-Power được lựa chọn làm công cụ nghiên cứu. Mô hình mô phỏng chu trình công tác của động cơ IAMZ-236 có lắp bộ tua bin - máy nén được thể hiện như trên Hình 1. Các phần tử trong mô hình động cơ IAMZ-236 được thể hiện trên Bảng 3. Phần tử “Intake”, “Exh” mô tả các thuộc tính đầu vào và ra của dòng khí như lưu lượng, nhiệt độ, mật độ, thành phần hóa học,...; Biên đầu vào khí nạp “IntAmbient” và ra của khí thải “ExhAmbient” mô tả các thuộc tính nhiệt độ, áp suất, độ ẩm, thành phần của khí nạp và thải,...; Cụm “Turbine” mô tả các thuộc tính của tua bin như áp suất đầu vào và ra, đường kính cửa vào và ra, hiệu suất, tốc độ, lưu lượng dòng khí,...; Cụm “Compre” mô tả thuộc tính của máy nén như mức tăng áp, áp suất và nhiệt độ trước và sau máy nén [7].

Bảng 3. Các phần tử trong mô hình

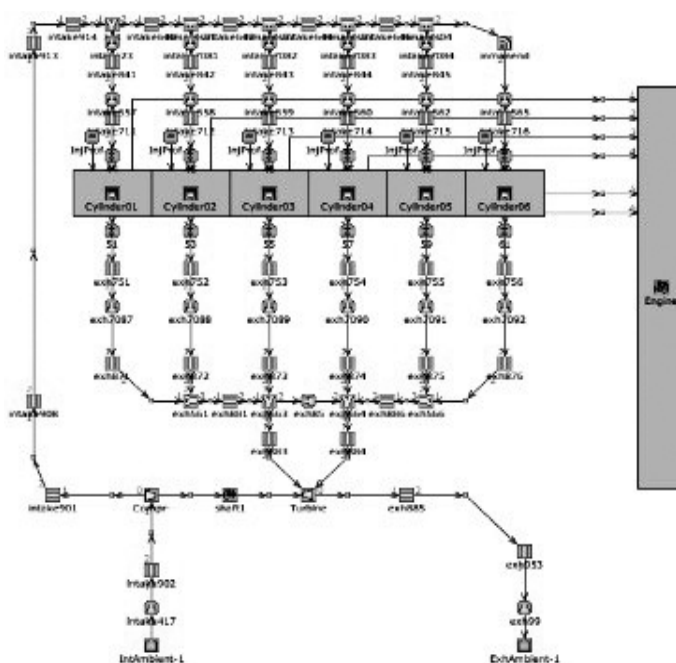
Tên phần tử	Ký hiệu	Số lượng	Tên phần tử	Ký hiệu	Số lượng
Động cơ	Engine	1	Đường ống thải khí	Exh	-
Xi lanh	Cylinder	6	Biên đầu vào khí nạp	IntAmbient	1
Vòi phun	Injprof	6	Biên đầu ra khí thải	ExhAmbient	1
Xu páp nạp	Valconint	6	Tua bin	Turbine	1
Xu páp thải	Valconexh	6	Máy nén	Compre	1
Đường ống nạp khí	Intake	-			

Bài báo này trình bày tính toán ảnh hưởng của nhiệt độ khí nạp đến hiệu suất và phát thải của động cơ IAMZ-236 khi thực hiện tăng áp bằng tua bin máy nén. Chế độ tính toán được lựa chọn là chế độ công suất định mức với tốc độ định mức 2100 vg/ph và 100% tải. Mức độ tăng áp được lựa chọn là 1,7 trên cơ sở tham khảo đề tài nghiên cứu trong nước về cường độ hóa công suất động cơ B2 trên phương tiện đặc chủng của tác giả Lê Đình Vũ [8] và tài liệu của Nga về động cơ IAMZ-236. Hiện nay tại Nga loại động cơ IAMZ-236 đã được cường hóa công suất với nhiều phiên bản tăng áp khác nhau như IAMZ-236HE, IAMZ-236HE2, IAMZ-236BK... và được lắp trên các phương tiện đặc chủng có tính năng thông qua cao [9].

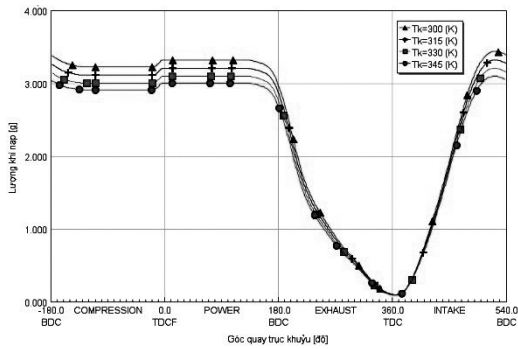
3. Kết quả và thảo luận

Các kết quả tính toán được trình bày trên các đồ thị, từ Hình 2 đến Hình 9.

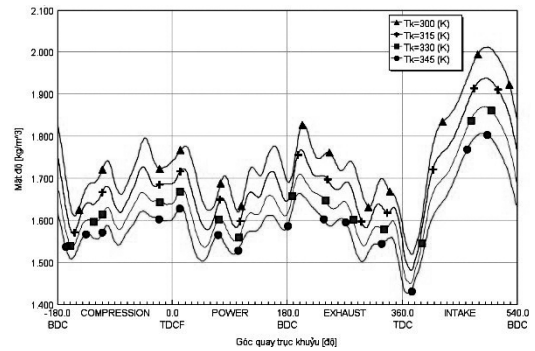
Nhiệt độ khí nạp là thông số đầu vào quan trọng, phụ thuộc và nhiệt độ môi trường và mức độ tăng áp của bộ tua bin máy nén. Khi nhiệt độ khí nạp tăng làm giảm lưu lượng khí nạp vào xi lanh trong mỗi chu trình như thể hiện trên Hình 2. Dựa vào kết quả trên Hình 3 ta thấy, mật độ khí nạp cũng giảm dần khi tăng nhiệt độ đầu vào của khí nạp. Nguyên nhân của việc giảm lưu lượng khí nạp vào là do khí nạp vào có nhiệt độ cao sẽ tạo thành các nút hơi làm cản trở dòng lưu chất, theo đó khối lượng khí nạp vào xi lanh mỗi chu trình sẽ giảm. Khi khối lượng không khí nạp vào xi lanh giảm sẽ làm giảm áp suất có ích của động cơ như thể hiện trên Hình 5.



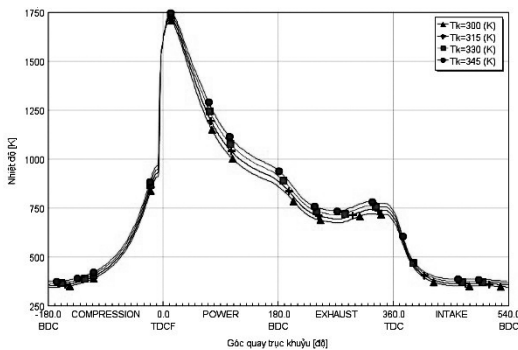
Hình 1. Mô hình động cơ IAMZ-236 tăng áp bằng tua bin khí thải



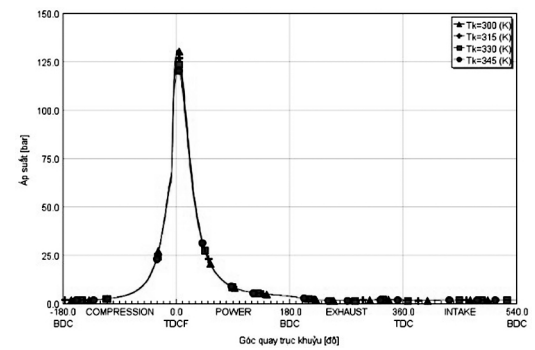
Hình 2. Diễn biến lưu lượng khí nạp theo nhiệt độ



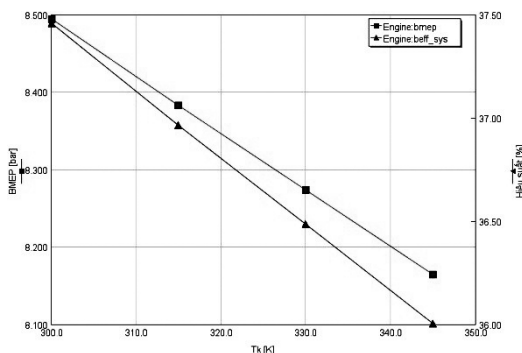
Hình 3. Diễn biến của mật độ khí nạp theo nhiệt độ



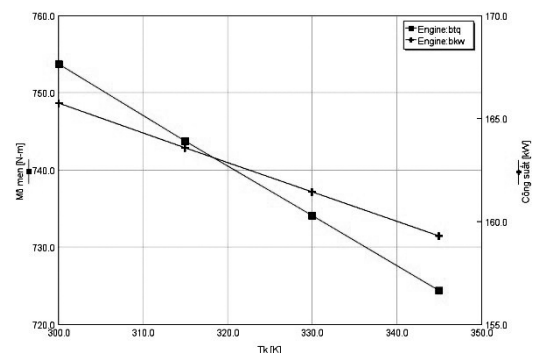
Hình 4. Diễn biến nhiệt độ trong buồng cháy theo nhiệt độ khí nạp



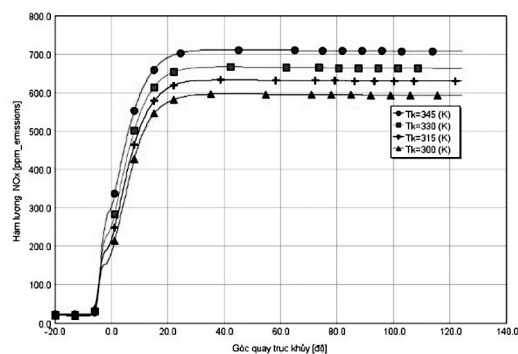
Hình 5. Diễn biến áp suất trong buồng cháy theo nhiệt độ khí nạp



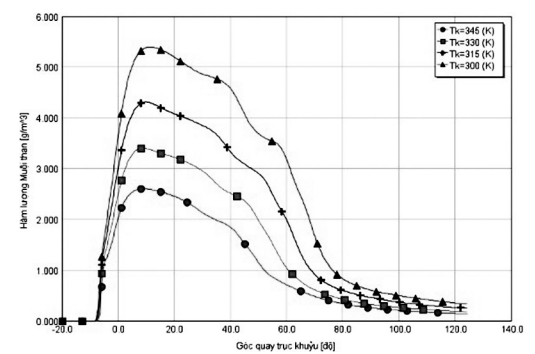
Hình 6. Diễn biến áp suất có ích trung bình và hiệu suất nhiệt của động cơ theo nhiệt độ khí nạp



Hình 7. Kết quả tính toán mô men và công suất có ích của động cơ theo nhiệt độ khí nạp



Hình 8. Diễn biến lượng phát thải NO_x theo nhiệt độ khí nạp



Hình 9. Diễn biến lượng phát thải muội than theo nhiệt độ khí nạp

Trên Hình 6 thể hiện rõ khi tăng dải nhiệt độ khí nạp từ 300K đến 345K thì áp suất có ích trung bình (BMEP) cũng giảm tương ứng từ 8,5 bar xuống 8,1 bar. Đồng thời hiệu suất nhiệt có ích của động cơ giảm từ 37,5% xuống còn 36%. Điều đó cho thấy công suất và mô men của động cơ cũng suy giảm theo sự tăng nhiệt độ khí nạp này, như thể hiện trên Hình 7.

Nhiệt độ khí nạp tăng thì làm tăng cao nhiệt độ cực đại của quá trình cháy trong xi lanh động cơ như thể hiện trên Hình 4. Khi nhiệt độ trong buồng cháy tăng sẽ làm tăng ứng suất và biến dạng nhiệt của các chi tiết xung quanh buồng cháy. Mặt khác, khi nhiệt độ quá trình cháy trong xi lanh của động cơ diesel tăng cao là nhân tố thuận lợi cho quá trình hình thành chất phát thải NO_x . Cơ chế hình thành NO_x trong động cơ diesel diễn ra nhanh do hỗn hợp cháy không đồng nhất. Với nhiệt độ của quá trình cháy đủ lớn thì O_2 và N_2 phân hủy thành nguyên tử có tính năng hoạt hóa cao, xảy ra phản ứng oxy hóa hình thành NO_x . Nhiệt độ của quá trình cháy càng cao thì phản ứng hình thành NO_x được đẩy mạnh, làm tăng nhanh nồng độ NO_x . Như vậy sự tăng của NO_x tỷ lệ thuận với sự tăng nhiệt độ của khí nạp như thể hiện trên Hình 8.

Muội than (soot) là một trong những chất ô nhiễm đặc biệt được quan tâm trong khí thải động cơ. Trong không khí các hạt muội than có tác dụng hấp thụ và khuếch tán ánh sáng mặt trời làm giảm độ trong suốt của khí quyển do đó làm giảm tầm nhìn, điều này gây mất an toàn giao thông. Hình 9 biểu diễn mối quan hệ của chất phát thải muội than với nhiệt độ khí nạp. Quá trình cháy khuếch tán trong động cơ diesel rất thuận lợi cho việc hình thành muội than. Sự cháy của hạt nhiên liệu lỏng khi chúng dịch chuyển trong buồng cháy và tập trung cục bộ hơi nhiên liệu ở những vùng có nhiệt độ cao là nguyên nhân chính sản sinh muội than. Ở vùng nhiệt độ trung bình và thấp (nhiệt độ cháy $<1700\text{K}$), hydrocarbon thơm có thể sinh ra muội than một cách trực tiếp và nhanh chóng biến thành cấu trúc gần graphite. Ở vùng nhiệt độ cao (nhiệt độ cháy $>1800\text{K}$) thì tốc độ sản sinh muội than giảm đi đáng kể. Sau giai đoạn sản sinh muội than là giai đoạn phát triển bề mặt, hợp dính, ngưng tụ và oxy hóa muội than. Quá trình oxy hóa sẽ làm giảm phát thải muội than ra môi trường. Phần lớn muội than bị oxy hóa trong xi lanh trước khi quá trình thải bắt đầu [10]. Tốc độ tạo muội than trong quá trình cháy là hiệu số giữa tốc độ sản sinh và tốc độ oxy hóa muội than. Dựa vào các đường đặc tính trên đồ thị ta thấy nhiệt độ quá trình cháy càng tăng sẽ làm chậm quá trình sản sinh các hạt muội than do đó lượng phát thải muội than ra môi trường sẽ giảm.



4. Kết luận

Qua các kết quả tính toán cho động cơ cụ thể IAMZ-236 khi chuyển sang có tăng áp đã cho thấy rằng, khi nhiệt độ khí nạp vào động cơ tăng lên sẽ làm giảm lưu lượng và mật độ khí vào xi lanh của mỗi chu trình công tác. Đồng thời làm tăng nhiệt độ và giảm áp suất cực đại của môi chất trong buồng cháy, dẫn đến giảm hiệu suất của động cơ và tăng hàm lượng phát thải NO_x . Nhiệt độ khí nạp tăng cao có thể làm tăng ứng suất và biến dạng nhiệt của các chi tiết quanh buồng cháy. Từ nghiên cứu trên có thể đưa ra kết luận rằng, sau khi tổ chức tăng áp cho động cơ diesel cần có giải pháp làm mát khí nạp sau máy nén, mục đích là làm tăng hiệu suất, giảm ứng suất và phụ tải nhiệt tại các chi tiết của động cơ, giảm phát thải NO_x đồng thời khống chế nhiệt độ buồng cháy để quá trình oxy hóa muội than diễn ra mạnh, hạn chế lượng phát thải muội than.

Tài liệu tham khảo

1. Nguyễn Tất Tiến (2000), *Nguyên lý động cơ đốt trong*, Nhà xuất bản Giáo dục, Hà Nội.
2. John B., Heywood (1998), *Internal combustion engine fundamental*, McGraw-Hill, New York.
3. AVL Boost (2004), *User guide, version 4.0.4*.
4. Stefano A., Roberto F., Ezio S., "Calculation of mass emissions, oxygen mass fraction and thermal capacity of the inducted charge in SI and diesel engines from exhaust and intake gas analysis", *Fuel*, IC Engines Advanced Laboratory, Politecnico di torino, c.so Duca degli Abruzzi, 24, 10129, Torino, Italy, 152-166.
5. AVL GmbH (2001), *Boost version 5.0 User's Guide*, Austria.
6. <http://www.gtisoft.com>.
7. GT-Suite (2012), *Engine Performance Tutorials*, Gamma Technologies, Inc.
8. Lê Đình Vũ (2015), *Nghiên cứu cường hóa động cơ B2 trên xe tăng họ T54/T55 bằng phương pháp tăng áp tua bin khí thải*, Đề tài NCKH cấp Nhà nước.
9. <https://ru.wikipedia.org/wiki/IAM3-236/238>.
10. Bùi Văn Ga, Văn Thị Bông, Phạm Xuân Mai, Trần Văn Nam, Trần Thanh Hải Tùng (1997), *Ô tô và ô nhiễm môi trường*, Nhà xuất bản Giáo dục, Hà Nội.