

**NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA VIỆC BỔ SUNG DIMETHYL ETHER
VÀO ĐƯỜNG NẠP ĐẾN CÁC CHỈ TIÊU KINH TẾ, NĂNG LƯỢNG
VÀ MÔI TRƯỜNG CỦA ĐỘNG CƠ DIESEL**

THE IMPACT OF THE ADDITION DIMETHYL ETHER ON INTAKE MANIFOLD TO
THE PERFORMANCE AND THE ENVIRONMENT OF DIESEL ENGINE

TS. Nguyễn Công Đoàn, Bùi Văn Chính
Đại học Công nghệ Giao thông vận tải
Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội
Liên hệ: doannc@utt.edu.vn

TÓM TẮT

Hiện nay, Dimethyl Ether (DME) là một trong những loại nhiên liệu thay thế triển vọng cho động cơ diesel. Một trong những giải pháp hữu hiệu để sử dụng DME cho động cơ diesel là phun bổ sung DME trên đường nạp của động cơ. Bài báo trình bày các kết quả nghiên cứu, đánh giá ảnh hưởng của việc bổ sung DME vào đường nạp đến các chỉ tiêu kinh tế, năng lượng và môi trường của động cơ diesel ISUZU 4BD1T bằng phần mềm mô phỏng AVL-Boost. Lượng DME được cung cấp vào đường nạp với tỷ lệ 5%, 10% và 15% về năng lượng khi động cơ làm việc theo đặc tính ngoài và đặc tính tải. Kết quả nghiên cứu cho thấy khi bổ sung DME vào đường nạp công suất động cơ thay đổi không đáng kể, mức phát thải NOx và PM giảm, phát thải CO tăng khi tỷ lệ bổ sung DME tăng.

Từ khóa: *Dimethyl Ether, Động cơ diesel ISUZU 4BD1T, Mức phát thải, Phần mềm AVL-Boost.*

ABSTRACT

Currently, Dimethyl Ether (DME) is one of the promising alternative fuel for diesel engines. One effective solution to use DME for diesel engines is additional DME on the intake manifold of engine. This paper presents the results of research the impact of the addition DME on intake manifold to the performance and the environment of diesel engine ISUZU 4BD1T using AVL- Boost simulation software. The amount of DME is provided on the intake manifold at the rate of 5%, 10% and 15% of the energy external characteristic. The study results showed that the addition of DME on the intake manifold of the engine changes insignificantly, NOx and PM emissions decrease, CO emission increases as additional rate increases DME.

Keywords: *Dimethyl Ether, diesel engine ISUZU 4BD1T, Emissions, AVL-Boost.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngày nay, sử dụng năng lượng tiết kiệm và hiệu quả đang là mục tiêu của Việt Nam và các quốc gia trên thế giới nhằm hạn chế cạn kiệt nguồn tài nguyên thiên nhiên và hạn chế tác hại đến môi trường. Một trong những giải pháp hiệu quả đó là nghiên cứu sử dụng các nguồn nhiên liệu thay thế cho nhiên liệu hóa thạch như năng lượng mặt trời, năng lượng gió, nhiên liệu hydro, nhiên liệu sinh học, sinh khối [1, 6, 7].

Trong các loại nhiên liệu thay thế cho động cơ diesel thì dimethyl ether (DME) là loại nhiên liệu có giá cả cạnh tranh, có thể thay thế hoàn toàn cho nhiên liệu diesel truyền thống. DME có nguồn nguyên liệu sản xuất phong phú, bao gồm cả các nguồn tái chế. So với nhiên liệu diesel truyền thống DME sử dụng trên động cơ có những ưu điểm cơ bản như: tỷ lệ hàm lượng hydro/cacbon cao nên quá trình cháy tạo ra ít phát thải CO₂, nhiệt độ sôi thấp giúp DME bay hơi nhanh khi được phun vào trong xy lanh động cơ, hàm lượng ôxy cao cùng với không có mối liên kết C-C trong phân tử dẫn đến quá trình cháy ít hình thành muội than, trị số xêtan cao (lớn hơn 55) do nhiệt độ tự cháy thấp và khả năng bay hơi nhanh, dẫn đến chất lượng quá trình cháy được cải thiện, không chứa lưu huỳnh nên không hình thành H₂SO₄ và

các thành phần hạt sulfate trong khí thải, giúp giảm ô nhiễm môi trường và tăng tuổi thọ của các bộ xử lý xúc tác [1, 6, 7].

Mặt khác, tỷ lệ không khí/nhiên liệu lý thuyết của DME ($l_0 = 9$) nhỏ hơn so với nhiên liệu diesel ($l_0 = 14,6$) làm thu nhỏ vùng ngọn lửa trong xi lanh. Mặt khác, nhiệt ẩn hóa hơi của DME lớn hơn 2 lần so với nhiên liệu diesel nên có thể làm lạnh môi chất công tác khi DME hóa hơi đồng thời làm giảm nhiệt độ vùng ngọn lửa cháy trong xi lanh. Vì vậy, sử dụng DME làm cho phát thải NOx của động cơ giảm đáng kể. DME có chỉ số xê tan cao nên là rút ngắn thời gian cháy trễ. Theo đó, tốc độ tăng áp suất dp/dφ khi cháy của DME nhỏ hơn $1,8 \div 1,9$ lần so với nhiên liệu diesel nên làm giảm độ ồn, động cơ hoạt động êm dịu hơn [5, 8].

Tuy nhiên, còn nhiều vấn đề cần giải quyết khi cung cấp DME cho động cơ. Để sử dụng hiệu quả loại nhiên liệu này cho động cơ diesel cần giải quyết các vấn đề khoa học-kỹ thuật như đảm bảo độ bền, độ tin cậy và an toàn cho động cơ và các hệ thống phục vụ. Mặt khác, DME có độ nhớt thấp và tính bôi trơn kém dẫn đến tăng khả năng rò rỉ nhiên liệu, gây mòn bề mặt của các chi tiết chuyển động trong hệ thống phun nhiên liệu. Chính vì vậy, việc sử dụng DME để thay thế một phần nhiên liệu diesel truyền thống bằng cách cung cấp vào đường nạp là một giải pháp hữu hiệu. Việc cung cấp DME vào đường nạp không ảnh hưởng đến hoạt động của hệ thống nhiên liệu sẵn có trên động cơ đồng thời dễ dàng thay đổi tỷ lệ giữa hai loại nhiên liệu (diesel và DME) cung cấp cho động cơ. Vì những lý do trên, các nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm việc cung cấp DME vào đường nạp nhằm đánh giá tính kinh tế nhiên liệu và khả năng giảm phát thải độc hại cho động cơ diesel là rất cấp thiết, có ý nghĩa khoa học cao và đáp ứng được các yêu cầu thực tế.

2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu

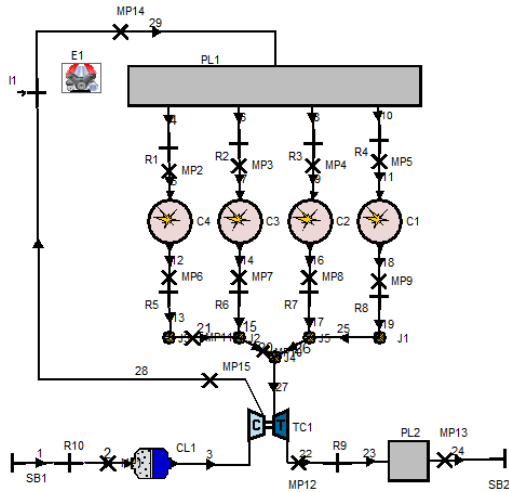
Đối tượng nghiên cứu được lựa chọn là động cơ diesel ISUZU 4BD1T. Động cơ ISUZU 4BD1T được sử dụng phổ biến trên các ô tô khách, ô tô tải cỡ nhỏ và trung bình. Động cơ ISUZU 4BD1T là loại động cơ diesel trung tốc 4 kỳ, tăng áp bằng tuabin khí xả, các xi lanh bố trí thẳng hàng, phun nhiên liệu trực tiếp, dùng bơm cao áp kiểu Bosch, làm mát bằng nước[4]. Các thông số kỹ thuật chính của động cơ được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Các thông số kỹ thuật chính của động cơ diesel ISUZU 4BD1T [4]

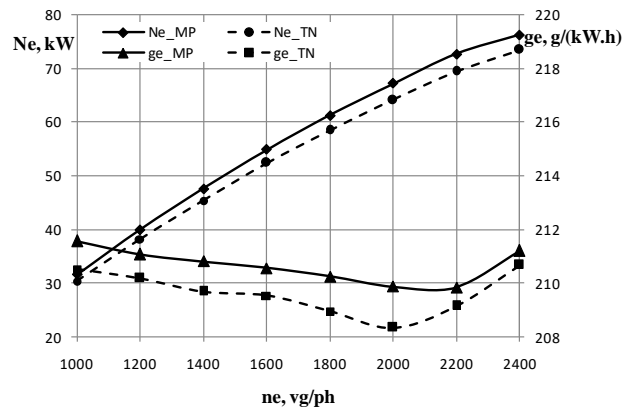
STT	Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Thứ tự công tác		1-3-4-2	
2	Đường kính xi lanh	D	102	mm
3	Hành trình piston	S	118	mm
4	Số xi lanh	i	4	-
5	Thể tích công tác	V_{xl}	3856	cm^3
6	Tỷ số nén	ϵ	17,5	-
7	Công suất định mức	N_e	78,3	kW
8	Vòng quay ứng với N_e	n_e	2500	vg/ph
9	Mô men cực đại ở 1600 vg/ph	M_{emax}	325,4	N.m
10	Góc phun sớm nhiên liệu tính theo góc quay trục khuỷu	φ_s	16	độ
11	Suất tiêu hao nhiên liệu	g_e	210	g/kW.h
12	Áp suất phun nhiên liệu	P_p	185	kg/cm^2

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Để nghiên cứu ảnh hưởng của việc cung cấp DME vào đường nạp đến các thông số kinh tế, năng lượng và môi trường của động cơ ISUZU 4BD1T tác giả sử dụng phương pháp nghiên cứu mô phỏng bằng phần mềm AVL-Boost [2, 3]. Theo phương án đã chọn, DME sẽ được phun vào đường ống nạp của động cơ do đó trên mô hình động cơ diesel-DME, ngoài các phần tử cơ bản như mô hình động cơ diesel nguyên thủy sẽ có thêm phần tử vòi phun (I1) để mô phỏng quá trình cung cấp DME. Phần tử vòi phun được kết nối với đường ống nạp của động cơ, sau máy nén. Mô hình mô phỏng động cơ ISUZU 4BD1T có lắp vòi phun cung cấp DME vào đường nạp sau khi xây dựng được trình bày trên Hình 1. Nhiên liệu diesel và DME được định nghĩa theo các thông số trong Bảng 2.



Hình 1. Mô hình động cơ ISUZU 4BD1T



Hình 2. Đặc tính công suất và suất tiêu hao nhiên liệu mô phỏng (MP) và thực nghiệm (TN) theo đặc tính ngoài của động cơ

Bảng 2. Các thông số của nhiên liệu diesel và DME

STT	Thông số	Đơn vị	DME	Diesel
1	Trọng lượng phân tử	g/mol	46	204
2	Hàm lượng cacbon	% khối lượng	52,2	86
3	Hàm lượng hydrô	% khối lượng	13	14
4	Hàm lượng ôxy	% khối lượng	34,8	0
5	Khối lượng riêng ở trạng thái lỏng	kg/m ³	667	831
6	Khối lượng riêng ở trạng thái khí (đktc)	kg/m ³	1,59	-
7	Tỷ lệ không khí/nhiên liệu lý thuyết	kg/kg	9,1	14,6
8	Nhiệt trị thấp	MJ/kg	28,43	42,5
9	Độ nhớt động học tại 20 °C	kg/m.s	0,15	3,53
10	Nhiệt dung riêng	kJ/(kg.K)	1,34	1,6
11	Chỉ số xê tan	-	55	47,3
12	Áp suất hơi bão hòa tại 20 °C	bar	5,1	0,003
13	Hệ số sức căng mặt ngoài	H/m	7,5.10 ⁻³	28.10 ⁻³
14	Nhiệt ẩn hóa hơi (đktc)	kJ/kg	425	220
15	Nhiệt độ tự bốc cháy	°C	235	380
15	Nhiệt độ hóa hơi trung bình	°C	- 24,9	280

Nhằm đảm bảo độ chính xác của mô hình, động cơ được thử nghiệm trên Bể thử AVL-UTT tại Phòng thí nghiệm Động cơ đốt trong – Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải (UTT) để lấy số liệu kiểm chứng và hiệu chỉnh mô hình. Kết quả mô phỏng và thực nghiệm về công suất và suất tiêu hao nhiên liệu được so sánh khi động cơ hoạt động theo đặc tính ngoài. Sai lệch về công suất là 3,34 %, sai lệch về suất tiêu hao nhiên liệu là 0,63 % (Hình 2) cho thấy mô hình đảm bảo độ tin cậy đáp ứng yêu cầu cho các nghiên cứu mô phỏng tiếp theo.

Việc sử dụng nhiên liệu DME thay thế một phần diesel được thực hiện trên cơ sở nhiệt lượng của hai phần nhiên liệu thay thế nhau này tương đương nhau. Tức là, nhiệt lượng của lượng nhiên liệu cấp vào động cơ không thay đổi so với nhiệt lượng của diesel cấp vào ở trường hợp đơn nhiên liệu diesel. Như vậy, tỷ lệ nhiên liệu DME thay thế được tính theo công thức:

$$E_{DME} = \frac{M_{Ddt} \cdot 100}{M_{Dbd}} \quad (1)$$

Trong đó, E_{DME} – Tỷ lệ nhiên liệu DME thay thế, %;

M_{Ddt} – Lượng nhiên liệu diesel được thay thế, g;

M_{Dbd} – Lượng nhiên liệu diesel ban đầu, g.

Lượng nhiên liệu DME thay thế được xác định theo công thức:

$$M_{DME} = \frac{M_{Ddt} \cdot Q_D}{Q_{DME}} \quad (2)$$

Trong đó, M_{DME} – Lượng nhiên liệu DME thay thế, g;

Q_D – Nhiệt trị thấp của nhiên liệu diesel, MJ/kg;

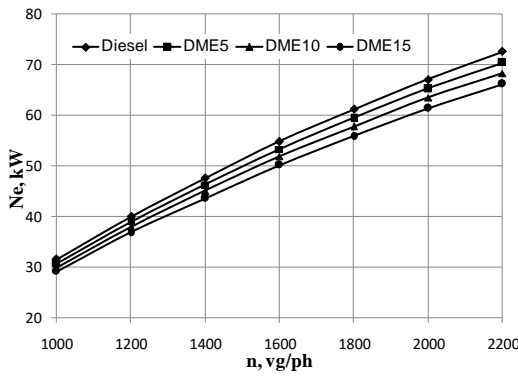
Q_{DME} – Nhiệt trị thấp của nhiên liệu DME, MJ/kg.

Với nguyên tắc thay thế DME như đã nói ở trên, tiến hành thay đổi thông số đầu vào trong phần khai báo lượng diesel cung cấp cho chu trình. Lượng nhiên liệu diesel điều chỉnh giảm lần lượt là 5%, 10% và 15%. Sau khi giảm lượng diesel cung cấp, tiến hành bổ sung lượng DME cung cấp cho chu trình theo công thức (2). Khi đó, hỗn hợp nhiên liệu sử dụng cho động cơ khi thay thế lần lượt 5%, 10% và 15% nhiên liệu diesel bằng DME được ký hiệu tương ứng là DME5, DME10 và DME15.

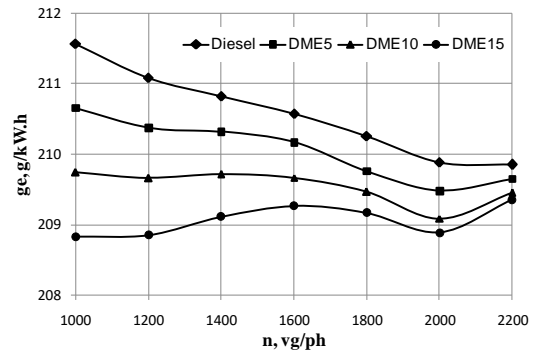
Các thông số kỹ thuật (công suất có ích N_e), kinh tế (suất tiêu hao nhiên liệu có ích nhiên liệu diesel g_e) và môi trường (phát thải CO, NOx và PM) được xác định khi thay đổi tỷ lệ thay thế nhiên liệu DME. Chế độ mô phỏng quá trình làm việc của động cơ theo đặc tính ngoài và đặc tính tải tại tốc độ có mô men lớn nhất $n = 1600$ (vg/ph).

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

Các kết quả tính toán mô phỏng thông số các thông số kỹ thuật (công suất có ích N_e) và kinh tế (suất tiêu hao nhiên liệu có ích nhiên liệu diesel g_e) của động cơ ISUZU 4BD1T hoạt động theo đặc tính ngoài khi thay đổi tỷ lệ thay thế nhiên liệu DME được thể hiện trên Hình 3 và Hình 4.



Hình 3. Công suất động cơ khi sử dụng hỗn hợp nhiên liệu diesel và DME theo đặc tính ngoài



Hình 4. Suất tiêu hao nhiên liệu diesel của động cơ khi sử dụng hỗn hợp nhiên liệu diesel và DME theo đặc tính ngoài

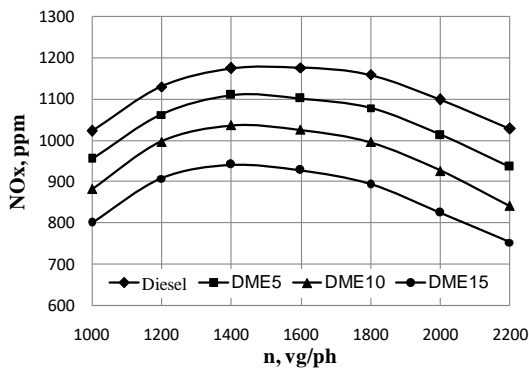
Phân tích các đồ thị trên Hình 3 và Hình 4 cho thấy:

- Khi tăng tỷ lệ thay thế nhiên liệu DME thì công suất động cơ giảm. Khi sử dụng nhiên liệu DME5 công suất động cơ giảm không đáng kể (không quá 3%). Khi sử dụng nhiên liệu DME10 và DME15 công suất động cơ giảm trung bình tương ứng 5,5% và 8,5%. Điều này được lý giải là do khi tăng lượng nhiên liệu DME phun vào đường nạp làm giảm lượng không khí nạp cung cấp vào động cơ gây ảnh hưởng đến quá trình cháy của nhiên liệu diesel.
- Khi tăng tỷ lệ thay thế nhiên liệu DME thì suất tiêu hao nhiên liệu diesel giảm. Tỷ lệ giảm lớn tại các chế độ vòng quay thấp (giảm lớn nhất 1,3% tại tốc độ $n = 1000$ (vg/ph) khi sử dụng DME15) sau đó tỷ lệ giảm nhỏ dần khi tăng tốc độ vòng quay động cơ. Điều này được lý giải là do khi tăng tỷ lệ DME và tốc độ vòng quay động cơ làm giảm lượng không khí nạp vào động cơ đồng thời hệ số dư lượng không khí α giảm dẫn đến công suất động cơ giảm.

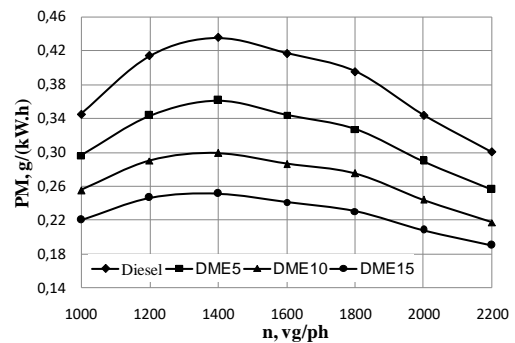
Các kết quả tính toán mô phỏng thông số môi trường (phát thải CO, NOx và PM) của động cơ ISUZU 4BD1T hoạt động theo đặc tính ngoài khi thay đổi tỷ lệ thay thế nhiên liệu DME được thể hiện trên Hình 5, Hình 6 và Hình 7.

Phân tích các đồ thị trên Hình 5, Hình 6 và Hình 7 cho thấy:

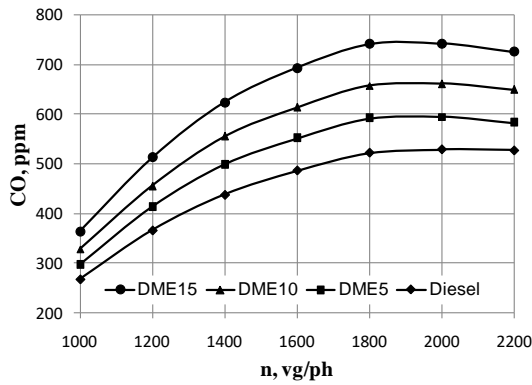
- Khi tăng tỷ lệ thay thế nhiên liệu DME thì phát thải NOx giảm. Tỷ lệ phát thải NOx giảm trung bình lần lượt là 8,5% khi sử dụng DME5, 17,2% khi sử dụng DME10 và 26,4% khi sử dụng DME15. Điều này có thể được lý giải là do tỷ lệ không khí/nhiên liệu lý thuyết của DME nhỏ hơn so với nhiên liệu diesel làm thu nhỏ vùng ngọn lửa trong xi lanh dẫn đến làm giảm phát thải NOx.



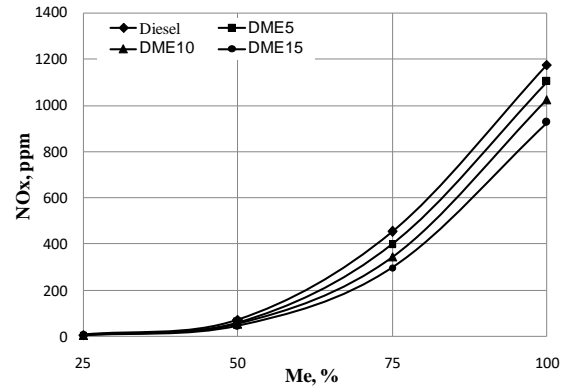
Hình 5. Phát thải NOx của động cơ khi sử dụng hỗn hợp nhiên liệu diesel và DME theo đặc tính ngoài



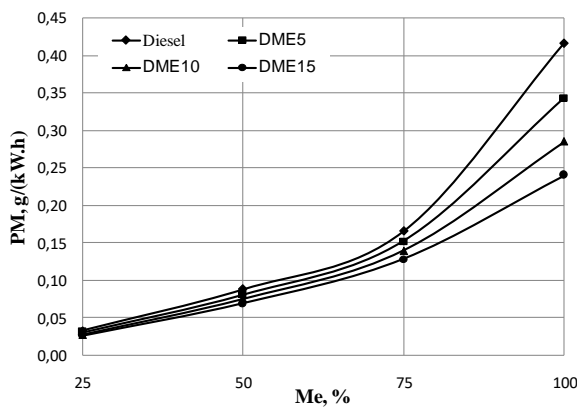
Hình 6. Phát thải PM của động cơ khi sử dụng hỗn hợp nhiên liệu diesel và DME theo đặc tính ngoài



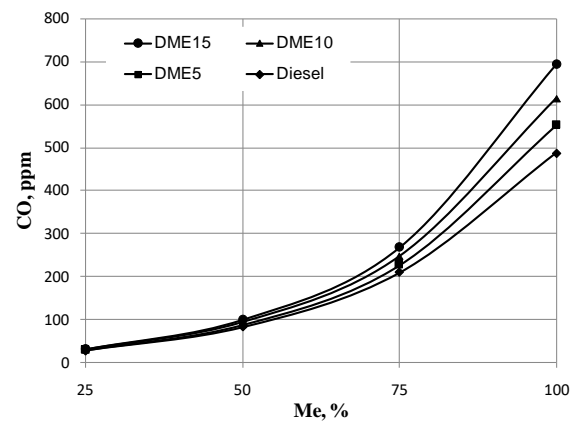
Hình 7. Phát thải CO của động cơ khi sử dụng hỗn hợp nhiên liệu diesel và DME theo đặc tính ngoài



Hình 8. Phát thải NOx của động cơ khi sử dụng hỗn hợp nhiên liệu diesel và DME theo đặc tính tải (n = 1600 (vg/ph))



Hình 9. Phát thải PM của động cơ khi sử dụng hỗn hợp nhiên liệu diesel và DME theo đặc tính tải (n = 1600 (vg/ph))



Hình 10. Phát thải CO của động cơ khi sử dụng hỗn hợp nhiên liệu diesel và DME theo đặc tính tải (n = 1600 (vg/ph))

- Khi tăng tỷ lệ thay thế nhiên liệu DME thì phát thải PM giảm. Tỷ lệ phát thải PM giảm trung bình lần lượt là 15,3% khi sử dụng DME5, 26,8% khi sử dụng DME10 và 36,8% khi sử dụng DME15. Điều này có thể được lý giải là do DME có hàm lượng oxy cao cùng với không có mối liên kết C-C trong phân tử dẫn đến quá trình cháy ít hình thành muội than.
- Khi tăng tỷ lệ thay thế nhiên liệu DME thì phát thải CO tăng. Tỷ lệ phát thải CO tăng trung bình lần lượt là 10,6% khi sử dụng DME5, 19,5% khi sử dụng DME10 và 28,2% khi sử dụng DME15. Điều này có thể được lý giải là do DME phun vào đường nạp làm giảm lượng khí nạp cấp vào động cơ dẫn đến thiếu lượng oxy để oxy hóa nhiên liệu nên làm tăng phát thải CO.

Các kết quả tính toán mô phỏng thông số môi trường của động cơ ISUZU 4BD1T hoạt động theo đặc tính tải tại vòng quay đạt mô men lớn nhất (n = 1600 (vg/ph)) khi thay đổi tỷ lệ thay thế nhiên liệu DME được thể hiện trên Hình 8, Hình 9 và Hình 10. Phân tích các đồ thị trên Hình 8, Hình 9 và Hình 10 cho thấy khi tăng tải các phát thải NOx, PM và CO đều tăng cao tại các chế độ tải lớn. Khi tăng tỷ lệ thay thế nhiên liệu DME thì phát thải NOx và PM đều giảm, phát thải CO tăng.

4. KẾT LUẬN

Sử dụng nhiên liệu DME cấp vào đường nạp để thay thế một phần nhiên liệu diesel là một giải pháp hữu hiệu để giảm các phát thải NOx và PM cho động cơ diesel.

Khi tăng tỷ lệ thay thế nhiên liệu DME thì phát thải NO_x và PM giảm, phát thải CO tăng. Tỷ lệ giảm trung bình NO_x đạt 26,4%, PM đạt 36,8% khi sử dụng DME15. Phát thải trung bình CO tăng lớn nhất 28,2% khi sử dụng DME15.

Kết quả nghiên cứu mô phỏng là cơ sở để nghiên cứu thiết kế và chế tạo hệ thống cung cấp DME vào đường nạp của động cơ diesel để đánh giá khả năng giảm phát thải độc hại cho động cơ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Lê Anh Tuấn. Nhiên liệu thay thế dùng cho động cơ đốt trong / Lê Anh Tuấn (ch.b.), Phạm Hữu Tuyển, Đinh Văn Sơn Thọ. – H.: Bách khoa Hà Nội, 2016. - 292tr.
- [2]. AVL. Thermodynamic cycle simulation Boost, Primary, Version 2011.
- [3]. AVL Boost (2006), Users guide Version 5.0, Graz – Austria
- [4]. Catalog diesel engine ISUZU 4BD1T.
- [5]. Zhen Huang, Xinqi Qiao, Wugao Zhang, Junjun Wu, Junjun Zhang (2009) – Dimethyl ether as alternative fuel for CI engine and vehicle. Front. Energy Power Eng. China, Vol. 3(1). DOI 10.1007/s11708-009-0013-1.
- [6]. Марков В.А., Гайворонский А.И., Грехов Л.В., Иващенко Н.А. Работа дизелей на нетрадиционных топливах. – М.: Изд-во «Легион-Автодата», 2008. – 464 с., ил.
- [7]. Патрахальцев Н.Н. Повышение экономических и экологических качеств двигателей внутреннего сгорания на основе применения альтернативных топлив: Учеб. пособие. – М.: РУДН, 2008. – 248 с.: ил.
- [8]. Совершенствование рабочих процессов автотрактных дизелей и их топливных систем, работающих на альтернативных топливах: монография / М. Г. Шатров, А.С. Хачиян, Л.Н. Голубков, А.Ю. Дунин. – М.: МАДИ, 2012. – с. 220, ил.