



EXPERIMENTALLY DETERMINE THE EFFECT OF PRESSURE ON INJECTION MASS AND DEVELOPMENT OF THE DIESEL FUEL SPRAY

Nguyen Thin Quynh*, Le Hoai Duc, Nguyen Cao Van

Faculty of Mechanical Engineering, University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 31/01/2024

Revised: 10/07/2024

Accepted: 10/08/2024

Published online: 15/08/2024

<https://doi.org/10.47869/tcsj.75.6.1>

* *Corresponding author*

Email: thinquynh@utc.edu.vn; Tel: 0866619228

Abstract. The issue of reducing emissions and increasing thermal efficiency is widely concerned, which ensures diesel engines meet increasingly stringent exhaust emissions standards. Among the solutions being researched and applied, increasing fuel injection pressure is a promising solution to be applied in practice. In this study, the influence of injector structure and fuel injection pressure on injection mass as well as the influence of injection pressure on the development of the fuel spray are presented. The results show that the fuel injection pressure reach 300 MPa when applying a redesign solution combined with enhancing the properties of the injector material. Besides, the results obtained also show that the cone angle of fuel spray tends to decrease with increasing fuel injection pressure. Due to the influence of pressure and geometrical errors of the injector holes, the amount of fuel and the width of the fuel sprays are different. In addition, the more the pressure increases, the more the cone angle decreases, and the spray becomes longer and quickly reaches a steady state.

Keywords: diesel fuel system, high pressure injection, electrohydraulic injectors, injection spray.



THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH ẢNH HƯỞNG CỦA ÁP SUẤT ĐẾN LƯỢNG PHUN VÀ SỰ PHÁT TRIỂN CỦA TIA PHUN NHIÊN LIỆU DIESEL

Nguyễn Thìn Quỳnh*, Lê Hoài Đức, Nguyễn Cao Văn

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 31/01/2024

Ngày nhận bài sửa: 10/07/2024

Ngày chấp nhận đăng: 10/08/2024

Ngày xuất bản Online: 15/08/2024

<https://doi.org/10.47869/tcsj.75.6.1>

* Tác giả liên hệ

Email: thinquynh@utc.edu.vn; Tel: 0866619228

Tóm tắt. Vấn đề giảm phát thải và tăng hiệu suất được quan tâm rộng rãi nhằm đáp ứng được các tiêu chuẩn khí xả ngày càng ngặt nghèo với động cơ diesel. Trong các giải pháp đang được nghiên cứu, áp dụng thì tăng áp suất phun nhiên liệu là một giải pháp có triển vọng được áp dụng trong thực tế. Trong nghiên cứu này, ảnh hưởng của kết cấu và áp suất phun nhiên liệu tới lượng phun cũng như ảnh hưởng của áp suất tới sự phát triển của tia nhiên liệu được trình bày. Các kết quả chỉ ra rằng, áp suất phun nhiên liệu đạt tới 300 MPa khi áp dụng giải pháp thiết kế lại kết hợp với sự tăng cường thuộc tính của vật liệu chế tạo kim phun. Bên cạnh đó, các kết quả nhận được cũng thể hiện rằng, góc nón chùm tia có xu hướng giảm khi tăng áp suất phun nhiên liệu. Do ảnh hưởng của áp suất và sai số hình học của các lỗ kim phun mà lượng nhiên liệu và bề rộng của các tia là không giống nhau. Ngoài ra, áp suất càng tăng thì càng làm cho góc nón chùm tia giảm xuống, tia phun dài hơn và nhanh chóng đạt tới trạng thái ổn định.

Từ khóa: hệ thống nhiên liệu diesel, phun áp suất cao, kim phun điện-thủy lực, tia phun.

© 2024 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đến thời điểm hiện tại, mặc dù động cơ điện đã và đang phát triển với tốc độ nhanh chóng nhưng động cơ đốt trong nói chung, động cơ diesel nói riêng vẫn đóng vai trò vô cùng quan trọng với các thiết bị động lực như các thiết bị phục vụ cho xây dựng, nông nghiệp, phương tiện giao thông,... Các vấn đề còn tồn tại với động cơ diesel liên quan đến phát thải, hiệu suất

nhật,... vẫn tiếp tục được nghiên cứu để đưa ra các giải pháp phù hợp nhằm cải thiện quá trình làm việc cho động cơ. Để đáp ứng các tiêu chuẩn khí xả ngày càng ngặt nghèo hướng tới EURO 6 hoặc Tier 4 thì động cơ đốt trong cũng phải có nhiều cải tiến và áp dụng nhiều hơn các công nghệ mới [1,2]. Các nghiên cứu cải tiến động cơ diesel gần đây xoay quanh các hướng chủ yếu như: phát triển các mô hình cháy mới như cháy hỗn hợp đồng nhất (HCCI, PCCI,...) [3-6], áp dụng các công nghệ xử lý khí xả bên cạnh việc sử dụng luân hồi khí xả với hàm lượng cao [7-8], các công nghệ về phát triển tối ưu các chi tiết, hệ thống của động cơ [9,10], cũng như nghiên cứu sử dụng nhiên liệu thay thế và năng lượng tái tạo [6,11,12]. Các giải pháp này có thể thực hiện riêng rẽ hoặc kết hợp với nhau để tăng hiệu quả khi áp dụng [13-15]. Trong các nhóm này, các nghiên cứu đối với cải tiến các hệ thống, chi tiết của động cơ đã chỉ ra rằng, việc tăng áp suất phun cho hệ thống nhiên liệu lên tới 300 MPa hoặc lớn hơn nữa kết hợp với tăng áp động cơ, luân hồi khí xả là một giải pháp khả thi để cải thiện chất lượng khí xả của động cơ cũng như cải thiện hiệu suất của động cơ diesel [16-19].

Các nghiên cứu về động cơ diesel đã chỉ ra rằng, hệ thống nhiên liệu là yếu tố vô cùng quan trọng ảnh hưởng trực tiếp đến các thông số đầu ra của động cơ như công suất, mô men, suất tiêu hao nhiên liệu. Tăng áp suất phun nhiên liệu giúp cải thiện quá trình phun và đốt nhiên liệu trong động cơ đốt trong, đặc biệt là động cơ diesel. Kể từ khi xuất hiện, hệ thống phun nhiên liệu tích áp có áp suất phun lớn hơn nhiều so với kiểu Bosh cổ điển đã không ngừng phát triển và được cải tiến. Các nghiên cứu gần đây về hệ thống nhiên liệu tích áp đi sâu về tìm các giải pháp tăng áp suất phun, thay đổi số lần phun trong một chu kỳ và quy luật phun được thực hiện theo hình dạng mong muốn [20,21]. Ngoài ra, cần có giải pháp để có thể phân phối nhiên liệu trong buồng cháy tại các khu vực khác nhau trong buồng cháy [22]. Các quy luật phun nhiên liệu khác nhau được xác định bằng xung điều khiển điện từ được lắp đặt và phù hợp với từng chế độ vận hành của động cơ [23,24]. Với các mức áp suất khác nhau, điều kiện làm việc cũng như các thông số của quá trình phun cũng được điều chỉnh cho phù hợp.

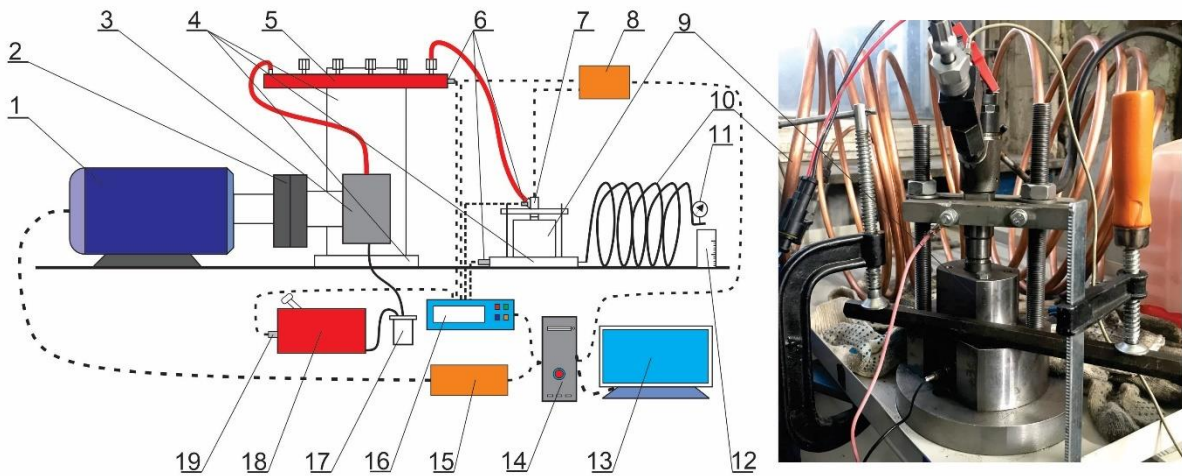
Để có thể tăng áp suất phun nhiên liệu, các vòi phun thông thường với dung sai chế tạo lớn sẽ làm tăng rò rỉ lượng nhiên liệu ở các vị trí lắp ghép. Điều này sẽ gây khó khăn trong vấn đề định lượng nhiên liệu để thực hiện quá trình điều khiển phun theo yêu cầu trong điều kiện áp suất phun cao. Bên cạnh đó, vật liệu chế tạo các chi tiết trong hệ thống nhiên liệu cũng là một vấn đề đáng quan tâm khi tăng áp suất phun. Nếu vật liệu không đủ độ bền sẽ làm tuổi thọ của kim phun suy giảm nhanh khi liên tục làm việc trong điều kiện áp suất cao. Việc tăng áp suất phun nhiên liệu sẽ ảnh hưởng trực tiếp tới đặc tính phun cũng như các thông số đặc trưng của chùm tia bao gồm chiều dài tia phun, góc nón chùm tia. Do đó, các thông số đặc tính của quá trình phun cần phải xác định bằng thực nghiệm để xem xét, đánh giá cẩn thận trước khi áp dụng cho động cơ thực tế. Để xác định hình dạng tia phun với áp suất phun lớn, có 3 giải pháp thường được áp dụng đó là: sử dụng phương pháp chụp kính hiển vi ngược sáng, phương pháp tán xạ Mie và phương pháp chụp ảnh Schlieren [25,26].

Trong nghiên cứu này, nhóm nghiên cứu sẽ đưa ra giải pháp nhằm giúp hệ thống nhiên liệu đạt được áp suất phun lên tới 3000 bar thông qua thiết kế cải tiến kim phun và phương pháp chụp hình trực tiếp sự phát triển của các tia nhiên liệu sẽ được thực hiện bằng việc sử dụng camera có tốc độ ghi hình cao. Các kết quả thu được sẽ được phân tích và làm cơ sở để xem xét, đánh giá ảnh hưởng của áp suất phun tới lượng phun và sự phát triển của tia nhiên liệu. Trên cơ sở đó, sẽ đưa ra các giải pháp để cải tiến áp dụng cho động cơ trong thực tiễn khi sử dụng hệ thống nhiên liệu mới với áp suất phun rất lớn.

2. THIẾT BỊ VÀ BỐ TRÍ THỰC NGHIỆM

Để tiến hành các nghiên cứu thử nghiệm về hệ thống nhiên liệu tích áp, một hệ thống thử nghiệm cung cấp áp suất phun nhiên liệu lên tới 350 MPa đã được thiết kế, chế tạo và lắp đặt. Tổ hợp bao gồm một bộ thử động cơ và một bộ thử nghiệm hệ thống nhiên liệu. Với bộ thử nghiệm hệ thống nhiên liệu được sử dụng để nghiên cứu quá trình làm việc của hệ thống nhiên liệu tách biệt với động cơ.

Bộ thử không động cơ dùng để thử nghiệm hệ thống nhiên liệu có thiết kế bao gồm các mô-đun ghép lại với nhau cho phép thích ứng với các nhiệm vụ, xem xét sự phát triển của tia phun trong các điều kiện bài toán đặt ra. Sơ đồ thí nghiệm hệ thống xác định lượng nhiên liệu phun được trình bày như trên hình 1. Bộ thử hệ thống nhiên liệu bao gồm:



Hình 1. Sơ đồ thí nghiệm xác định lượng nhiên liệu phun [23]: 1 – Động cơ điện; 2 – Khớp nối trực; 3 – Bơm nhiên liệu cao áp; 4 – Giá lắp hệ thống CR; 5 – Ống tích áp (ống rail); 6 – Cảm biến áp suất; 7 – Kim phun nhiên liệu; 8 – Bộ chuyển đổi tín hiệu điều khiển kim phun; 9 – Khoang xác định đặc tính phun; 10 – Đường dẫn nhiên liệu áp suất thấp; 11 – Đồng hồ đo áp suất ra; 12 – Cốc đựng nhiên liệu; 13 – Màn hình máy tính; 14 – Cây máy tính; 15 – Bộ chuyển đổi điều khiển động cơ điện; 16 - Hệ thống thu thập dữ liệu; 17 - Lọc nhiên liệu; 18 – Thùng nhiên liệu; 19 – Cảm biến nhiệt độ.

- Động cơ điện không đồng bộ (7,5 kW, 3000 v/ph) với bộ chuyển đổi thyristor, cho phép điều chỉnh vô cấp tốc độ quay;

- Nguồn điện cung cấp cho hệ thống điều khiển là nguồn một chiều sử dụng ắc quy 24V. Đây là nguồn sử dụng phổ biến cho các ô tô đang lưu hành;

- Cảm biến áp suất cao (dải đo ổn định từ 0-400 MPa ngoài ra, cảm biến có thể đo với khả năng quá tải ngắn hạn lên tới 600 MPa) và đồng hồ đo áp suất kiểu số quay (dải đo từ 0-600 MPa);

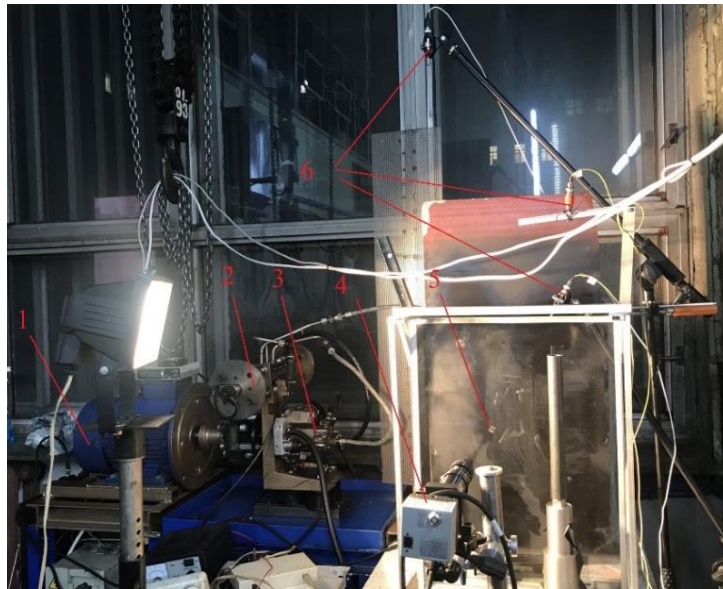
- Đường áp suất thấp, bao gồm bơm nhiên liệu và bộ lọc nhiên liệu.

Hệ thống điều khiển được phát triển cho hệ thống thử nghiệm không sử dụng động cơ đốt trong cho phép thử nghiệm hệ thống nhiên liệu trong cả hai trường hợp có động cơ và không có động cơ. Hệ thống điều khiển có thể thực hiện các chức năng sau:

- Duy trì áp suất ổn định theo giá trị mong muốn trong ống tích áp dựa trên phản hồi từ cảm biến áp suất số 6;

- Điều khiển kim phun điện thủy lực bằng bộ truyền động van điện từ hoặc áp điện;
- Thực hiện phun theo thời điểm được xác định theo vị trí của trục khuỷu (góc phun sớm φ_s).

Để ghi lại hình dạng của tia phun, khoang 9 được thay thế bằng một buồng kín trong suốt để quan sát được sự phát triển của tia nhiên liệu. Tia nhiên liệu được quay lại bằng bằng máy quay Navitar, lens 0,25X, tần số 50000 Hz. Để tăng cường ánh sáng, sử dụng đèn chiếu 150W có thể điều chỉnh được góc để nhận được hình ảnh sắc nét nhất. Sơ đồ bố trí thí nghiệm xác định tia nhiên liệu được thể hiện như trên Hình 2 và các thông số khi bố trí chụp ảnh được thể hiện như Bảng 1. Các thử nghiệm được tiến hành tại Phòng thí nghiệm động cơ trên phương tiện giao thông, Bộ môn Kỹ thuật nhiệt và động cơ ô tô máy kéo, Trường Đại học kỹ thuật giao thông đường bộ Mátxcova (MADI), Liên bang Nga.



Hình 2. Sơ đồ bố trí thí nghiệm kiểm tra tia nhiên liệu: 1 – Động cơ điện; 2 - Ống tích áp; 3- Bơm cao áp; 4 – Camera tốc độ cao; 5 – Đầu kim phun; 6 – Cảm biến đo òn.

Bảng 1. Điều kiện thử nghiệm chụp hình tia nhiên liệu.

Thông số	Thuộc tính
Nhiệt độ môi trường	298K
Độ phân giải hình ảnh	128 x 256
Tần số hình ảnh	50 kHz
Lens sử dụng	0,25X
Khoảng cách từ Len đến đầu kim phun	390 mm

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Để xác định kết cấu kim phun hợp lý, nghiên cứu đã thực hiện đánh giá ảnh hưởng của việc tăng áp suất phun lên lượng nhiên liệu phun theo thời gian của kim phun điện-thủy lực với nhiều thiết kế khác nhau nhằm chọn ra phương án khả thi nhằm đạt được áp suất phun nhiên liệu lên đến 300 MPa.

Nghiên cứu liên quan đến kim phun điện thủy lực với các đặc điểm thiết kế sau:

- Vòi phun số 1 với van điều khiển điện từ không chịu áp suất của nhiên liệu;
- Vòi phun số 2 với van điều khiển điện từ chịu áp suất của nhiên liệu;
- Vòi phun số 3 với bộ dẫn động áp điện (piezoelectric) của van điều khiển;
- Vòi phun số 4 với van điều khiển điện từ, không chịu áp suất của nhiên liệu và tích hợp bộ tích áp.

Các thông số cơ bản của 4 kim phun được thể hiện như trên Bảng 2.

Bảng 2. Các thông số cơ bản của vòi phun được sử dụng.

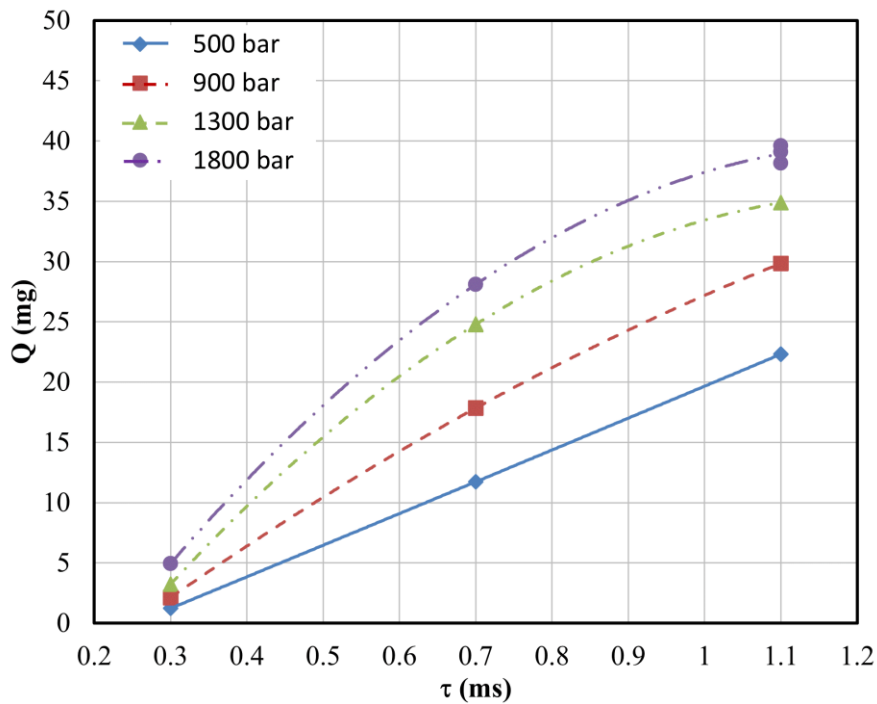
Vòi phun	Số lỗ	Đường kính lỗ (mm)
1	7	0,105
2	6	0,12
3	7	0,13
4	8	0,09

3.1. Ảnh hưởng của áp suất tới lượng nhiên liệu phun theo chu kỳ

Lượng phun nhiên liệu chu kỳ được xác định bằng phương pháp cân lượng nhiên liệu phun ra với một số lượng chu kỳ được đặt trước là 3000 chu kỳ. Các kết quả về lượng phun theo thời gian được thể hiện như trên các Hình 3, 4, 5 và 6.

Trong quá trình thử nghiệm, nhận thấy rằng vòi phun số 1 có khả năng chịu áp lực kém nhất. Các kết quả thu được thể hiện rằng:

- Ở áp suất trong bộ tích áp trên $p_{ak} = 160-180$ MPa, hoạt động của vòi phun trở nên không ổn định, đôi khi xảy ra tình trạng không liên tục trong việc phun nhiên liệu. Nguyên nhân của những tác động này là do ma sát trong khe hở của cụm van tăng lên dưới tác động của áp suất cao;



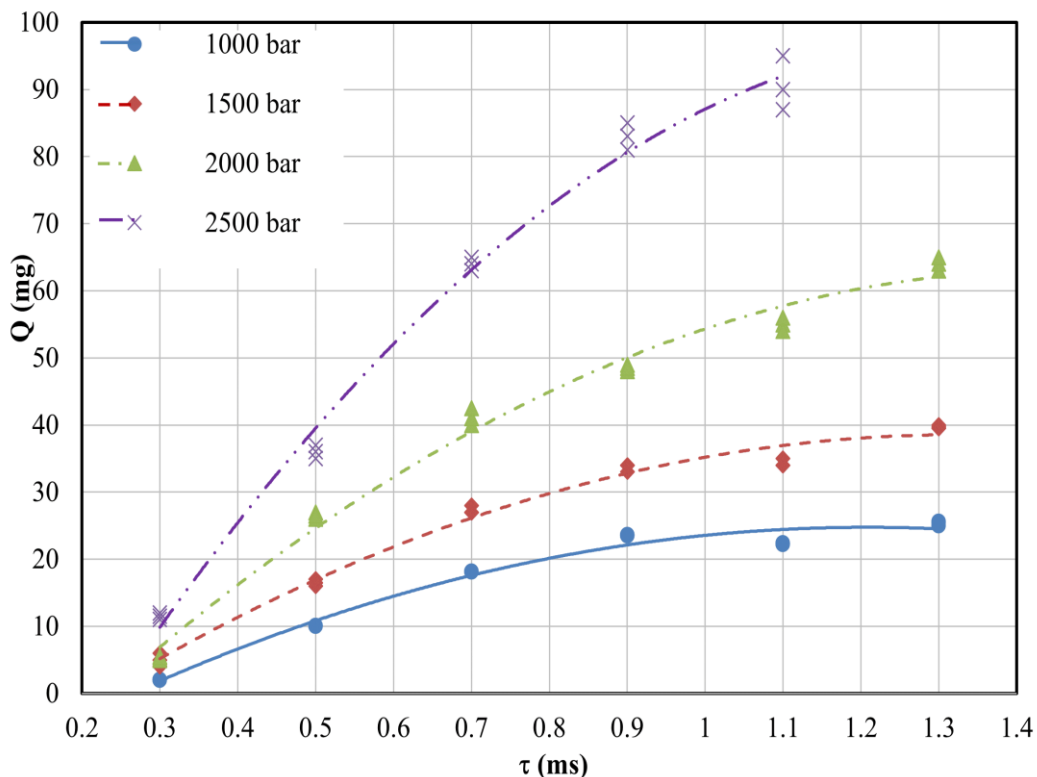
Hình 3. Sự phụ thuộc của lượng nhiên liệu phun theo độ rộng xung điều khiển và áp suất phun nhiên liệu của kim phun số 1.

• Việc tăng thêm áp suất vượt qua 240-260 MPa là không thể do lượng nhiên liệu rò lọt tăng mạnh. Nguyên nhân là do độ kín thủy lực của cụm van bi và các chi tiết lắp ghép không đủ bé để chịu được các áp suất cao. Bên cạnh đó, với nguồn năng lượng lớn được cung cấp cho nhiên liệu, nó sẽ được chuyển đổi thành nhiệt và làm cho nhiên liệu nóng lên. Các giá trị nhiệt độ đo được phụ thuộc vào mức độ tăng áp suất và được ghi nhận vượt quá 100°C. Do đó, cần có các giải pháp để giảm nhiệt độ nhiên liệu về mức yêu cầu là từ 30-40°C.

So với vòi phun số 1, vòi phun số 2 có khả năng chịu được áp suất cao hơn, nhưng các thử nghiệm đã phát hiện một số hiện tượng tiêu cực của vòi phun số 2 như sau:

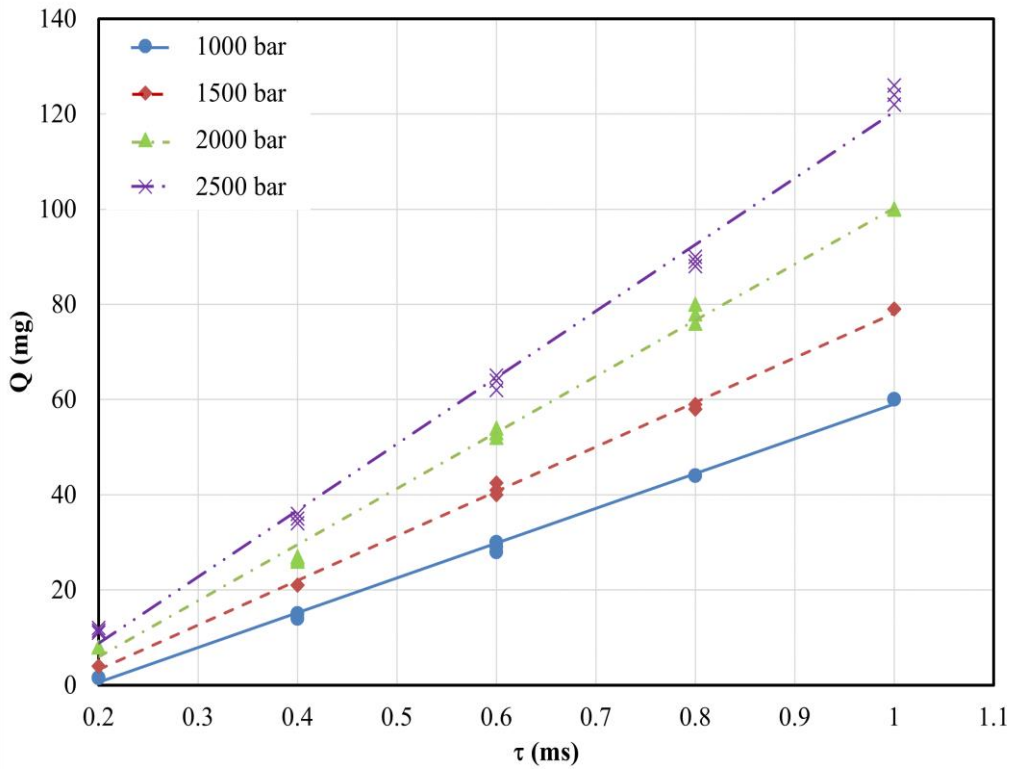
- Ở áp suất $p_{ak} = 250$ MPa trở lên, vòi phun 2 có lượng dầu hồi tăng;
- Lượng dầu hồi tăng làm nhiên liệu, kim phun và bơm cao áp bị quá nóng. Nhiệt độ của vỏ ở khu vực van điều khiển nơi xảy ra hiện tượng tiết lưu nhiên liệu đạt tới 130°C;
- Hoạt động của kim phun trở nên không ổn định (độ ổn định giữa các chu kỳ thấp) và cần có công suất cao để dẫn động bơm cao áp (trên 7,5 kW).

Một trong những nguyên nhân gây ra những tác động tiêu cực này là do áp suất nhiên liệu tạo ra tải trọng dọc trục lên van theo hướng ngược lại với lò xo ép van vào đế. Khi $p_{ak} = 250$ MPa trở lên, lực lò xo không đủ để thắng áp suất, do đó, độ kín thủy lực của van và đế không ổn định làm tăng lượng rò lọt.

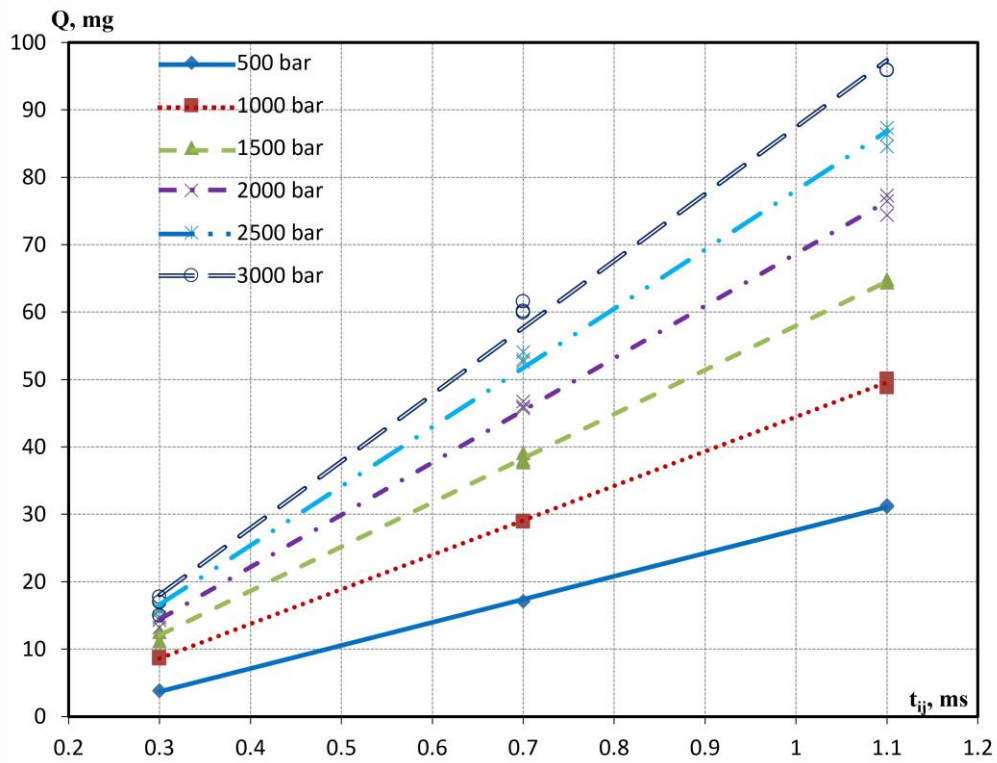


Hình 4. Sự phụ thuộc của lượng nhiên liệu phun theo độ rộng xung điều khiển và áp suất phun nhiên liệu của kim phun số 2.

Vòi phun số 3 có khả năng chống tăng áp suất cao hơn vòi phun số 1 và số 2. Các chế độ thử nghiệm với vòi phun này được thực hiện khi có áp suất dư ở đầu ra 1 MPa. Sự phụ thuộc của lượng nhiên liệu phun theo độ rộng xung điều khiển và áp suất phun nhiên liệu Hình 5.



Hình 5. Sự phụ thuộc của lượng nhiên liệu phun theo độ rộng xung điều khiển và áp suất phun nhiên liệu của kim phun số 3.



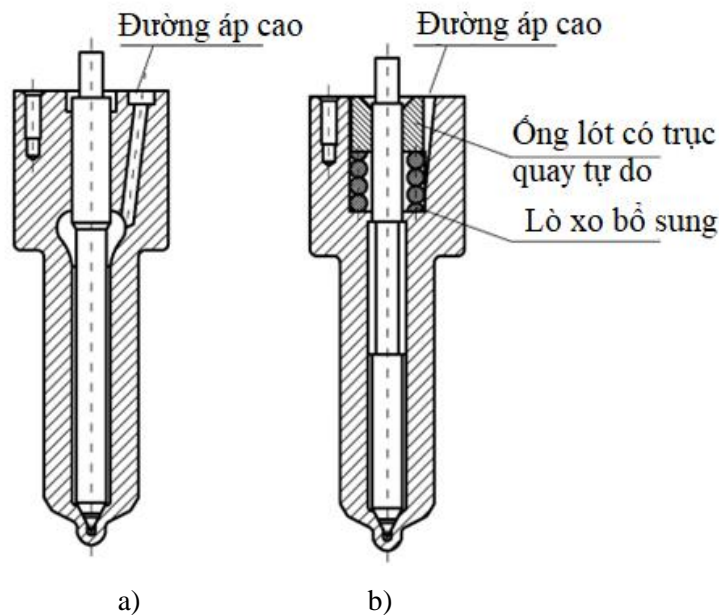
Hình 6. Sự phụ thuộc của lượng nhiên liệu phun theo độ rộng xung điều khiển và áp suất phun nhiên liệu của kim phun số 4.

Các nghiên cứu thực nghiệm xác định lượng phun theo thời gian tín hiệu phun khác nhau và áp suất phun tăng từ 1000 đến 2500 bar bước nhảy là 500 bar. Tuy nhiên, với áp suất lớn hơn 2500 bar sẽ cần dòng điện lên tới 60A và điện áp 220V. Dòng điện và điện áp này là rất khó có thể cung cấp với hệ thống điện được bố trí cho phương tiện và máy móc sử dụng hệ thống phun nhiên liệu điện tử. Việc tăng dòng điện và điện thế đóng mở kim phun nhằm khắc phục áp lực của nhiên liệu tác dụng lên van đóng mở của kim phun.

Ở áp suất lớn hơn $p_{ak} = 250$ MPa, khoảng cách tối thiểu giữa các lần cấp liệu là 200 ms. Điều này là do áp suất trong buồng đẩy thủy lực tăng lên, dẫn đến rò rỉ nhiên liệu từ khoang chứa của nó. Sự gia tăng áp suất trong buồng chứa xảy ra do sự gia tăng áp lực mà nó truyền đến kênh dẫn thông với áp suất nhiên liệu đầu vào. Để khôi phục chức năng làm việc bình thường của vòi phun, cần một khoảng thời gian đáng kể để lấp đầy khoang chứa.

Vòi phun số 4 được xác định có khả năng chịu được áp suất phun cao nhất và lên tới 300 MPa. Đây chính là phương án rất tốt để sử dụng thực nghiệm trên các động cơ theo hướng tăng áp suất phun. Sự phụ thuộc của lượng nhiên liệu phun theo độ rộng xung điều khiển và áp suất phun nhiên liệu của kim phun số 4 như Hình 6.

Sự khác nhau trong thiết kế của vòi phun số 3 và số 4 nằm ở chỗ có sự cải tiến trong việc thiết kế, chế tạo, lắp ráp thêm một chi tiết được gọi là ống lót có trục quay tự do như Hình 7.



Hình 7. Các phương án thiết kế vòi phun của vòi phun điện thủy lực: a) Thiết kế truyền thống [27]; b) với ống lót có trục quay tự do.

Với các kim phun được thiết kế theo kiểu truyền thống (Hình 7, a), vật liệu được sử dụng là thép 18X2H4MA giúp kim phun chịu được áp suất nhiên liệu lên tới 160 MPa. Tuy nhiên, nếu áp suất tiếp tục tăng lên, làm cho kim phun có xu hướng bị phá hủy các kênh dẫn nhiên liệu tới đầu kim phun và phá hủy thân của vòi phun. Trong phương án cải tiến thiết kế kim phun có sử dụng ống lót có trục quay tự do như Hình 7, b sẽ cho phép áp suất tăng lên 1,56 lần (lên tới 250 MPa. Bên cạnh đó, đường kính của trục kim phun khu vực lắp ống lót sẽ được giảm xuống. Vấn đề này giúp giảm lực nén lò xo hồi vị và giảm lực va đập của kim khi nâng hạ. Kết hợp các yếu tố đó, làm tuổi thọ của kim phun tăng lên. Để tăng áp suất lên tới 300 MPa, thép có cường độ cao hơn nữa đã được áp dụng kết hợp với ống lót có trục quay tự do. Các nghiên cứu

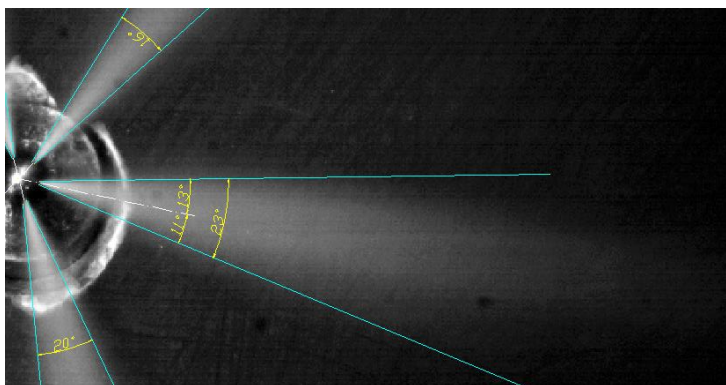
tính toán được thực hiện tại trường Đại học Giao thông đường bộ Mátxcova (MADI) đã tiến hành chế tạo với mác thép N18K8M5T đã cho phép tăng áp suất nhiên liệu lên 300 MPa và kim phun đảm bảo được các yêu cầu kỹ thuật cũng như tuổi thọ.

3.2. Ảnh hưởng của việc tăng áp suất phun đến động lực phát triển của tia nhiên liệu

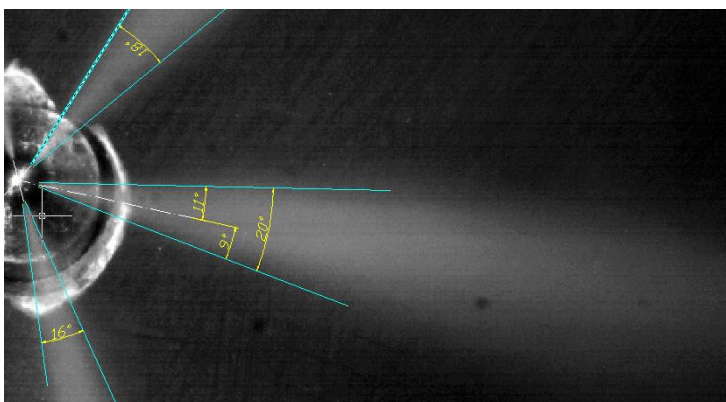
Các bức ảnh được trình bày trong Hình 8, 9, 10 được chụp khi kim phun được mở với cùng một xung điều khiển với thời lượng $t_{pi} = 80$ ms. Việc ghi lại hình ảnh được thực hiện bằng máy quay video tốc độ cao với tần số 50000 Hz.

Thực nghiệm xác định động lực phát triển của tia phun được thực hiện với vòi phun số 2 vào không khí ở áp suất khí quyển. Vòi phun được cài đặt thực hiện phun một lần và kim phun có đường kính lỗ phun là 0,12 mm.

$t_{pi} = 0,2$ ms



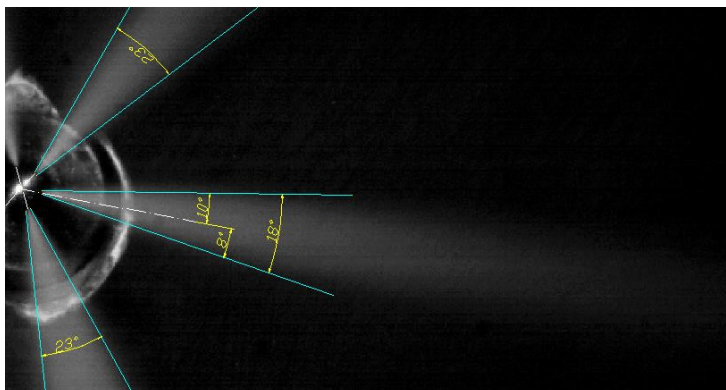
$t_{pi} = 0,7$ ms



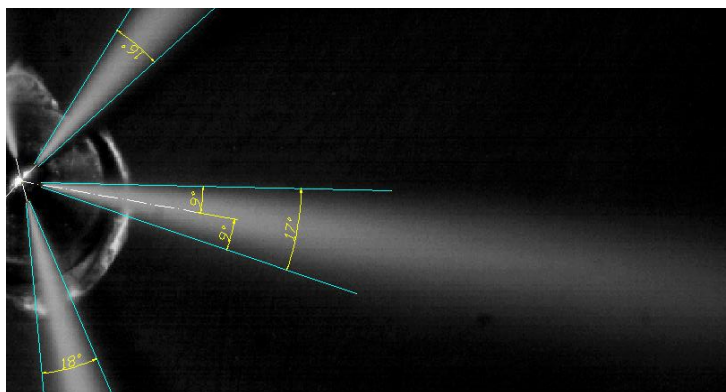
Hình 8. Ảnh chụp tia ở áp suất $p_{ak}=50$ MPa: t_{pi} – thời gian kể từ lúc phun nhiên liệu.

Với 3 chế độ áp suất thử nghiệm là 50, 100 và 150 MPa các kết quả đều nhận thấy rằng lượng nhiên liệu phun giữa các tia là không đồng đều nhau và sự sai lệch trong chế tạo làm cho góc nón chùm tia cũng khác nhau. Để đảm bảo xem xét sự thay đổi của tia phun với áp suất khác nhau, ta xem xét với một tia phun riêng biệt. Dòng nhiên liệu không đồng đều về chiều rộng. Dọc theo trục của nó có một lõi tương đối dày đặc, bao gồm lượng lớn nhiên liệu đang phân rã. Lõi của tia chuyển động theo dòng chảy đồng thời bao quanh là lớp biên của nhiên liệu đã được hòa trộn với không khí.

$t_{pi} = 0,2 \text{ ms}$

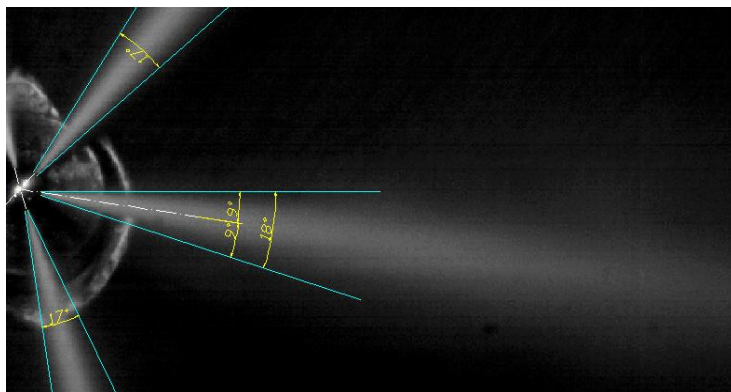


$t_{pi} = 0,7 \text{ ms}$

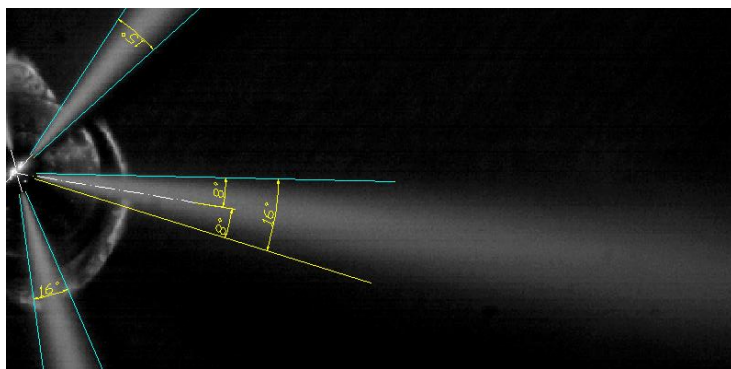


Hình 9. Ảnh chụp tia ở áp suất $p_{ak}=100 \text{ MPa}$; t_{pi} – thời gian kể từ lúc phun.

$t_{pi} = 0,2 \text{ ms}$



$t_{pi} = 0,7 \text{ ms}$



Hình 10. Ảnh chụp tia ở áp suất $p_{ak}=150 \text{ MPa}$; t_{pi} – thời gian kể từ lúc phun.

Sự gia tăng áp suất trong bộ tích áp dẫn đến góc nón chùm tia giảm. Ở 50 MPa, góc hình nón của lớp biên là (20-23)°, ở 100 MPa là (17-18)°, ở 150 MPa là (16-19)°. Với tất cả các giá trị áp suất phun, trong giai đoạn bắt đầu, góc nón thường lớn và nhỏ dần ở trạng thái ổn định. Các áp suất phun càng lớn thì tia phun càng dài ra, làm góc nón chùm tia sẽ có xu hướng giảm xuống. Ngoài ra, trong giai đoạn bắt đầu phun, giữa trục của tia phun và trục của lỗ phun là lệch nhau. Tuy nhiên, khi áp suất phun ổn định, thì hai trục này sẽ trùng nhau.

4. KẾT LUẬN

Trong phạm vi nghiên cứu này đã thực hiện được các vấn đề sau:

- Chế tạo và lắp đặt được một hệ thống thử nghiệm hoàn chỉnh bao gồm động cơ điện kéo, thiết bị đo, phương pháp đo, để xác định được đặc tính phun nhiên liệu cũng như động lực phát triển của chùm tia nhiên liệu.

- Xác định được khả năng tăng áp suất của các vòi phun thông thường và đưa ra giải pháp cải tiến từ vật liệu tới thiết kế để tăng áp suất phun nhiên liệu. Tiến hành thực nghiệm để xác định được lượng phun nhiên liệu của các kim phun cũng như của kim phun cải tiến với áp suất lên tới 300 MPa. Các kết quả nhận được là tương đối tốt và đáp ứng được các yêu cầu mong muốn

- Dưới ảnh hưởng của áp suất và sai số hình học của các lỗ kim phun chế tạo, lượng nhiên liệu và bề rộng của các tia là không đồng đều. Ngoài ra, áp suất càng tăng thì càng làm cho góc nón chùm tia giảm xuống, tia phun dài hơn và nhanh chóng đạt tới trạng thái ổn định với trục của chùm tia và trục của lỗ kim là trùng nhau.

Các kết quả thu được là cơ sở để đánh giá thiết bị được chế tạo, lắp đặt cũng như phương pháp chụp hình tia phun được lựa chọn. Trên cơ sở các kết quả này cũng như những cải tiến kim phun nhiên liệu, các nghiên cứu về tăng áp suất phun sẽ được tiến hành và đánh giá thực nghiệm trên động cơ thử nghiệm.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường đại học Giao thông vận tải trong đề tài mã số T2023-CK-004TĐ. Nhóm tác giả cũng xin chân thành cảm ơn PGS. TSKH. A.Y. Dunin và PGS. TS. P.V. Dushkin, Bộ môn Kỹ thuật nhiệt và động cơ ô tô, Khoa năng lượng và sinh thái, Trường Đại học Giao thông đường bộ Mátxcova (MADI) đã hỗ trợ cho nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. M. Williams, R. Minjares, A technical summary of Euro 6/VI vehicle emission standards, International Council on Clean Transportation, (2016).
- [2]. A. Gómez, P. Fernández-Yáñez, J.A. Soriano, L. Sánchez-Rodríguez, C. Mata, R. García-Contreras, O. Armas, M.D. Cárdenas, Comparison of real driving emissions from Euro VI buses with diesel and compressed natural gas fuels, Fuel, 289 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119836>
- [3]. O. Fernie, T. Megaritis, L. Ganippa, E. Al Tingas, Numerical Analysis of Zero-Carbon HCCI Engine Fuelled with Steam Diluted H₂/H₂O₂ Blends, SSRN Electronic Journal, 326 (2022). <https://doi.org/10.2139/ssrn.4100930>
- [4]. A. P. Singh, V. Kumar, A. K. Agarwal, Evaluation of comparative engine combustion, performance and emission characteristics of low temperature combustion (PCCI and RCCI) modes, Appl Energy, 278 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115644>

- [5]. A. Turkcan, M. D. Altinkurt, G. Coskun, M. Canakci, Numerical and experimental investigations of the effects of the second injection timing and alcohol-gasoline fuel blends on combustion and emissions of an HCCI-DI engine, *Fuel*, 219 (2018) 50–61. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.01.061>
- [6]. I. D. Dimitrova, T. Megaritis, L. C. Ganippa, E. Al Tingas, Computational analysis of an HCCI engine fuelled with hydrogen/hydrogen peroxide blends, *Int J Hydrogen Energy*, 47 (2022) 10083–10096. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.01.093>
- [7]. G. Boccoardo, F. Millo, A. Piano, L. Arnone, S. Manelli, S. Fagg, P. Gatti, O. E. Herrmann, D. Queck, J. Weber, Experimental investigation on a 3000 bar fuel injection system for a SCR-free non-road diesel engine, *Fuel*, 243 (2019) 342–351. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.01.122>
- [8]. J. M. López, F. Jiménez, F. Aparicio, N. Flores, On-road emissions from urban buses with SCR+Urea and EGR+DPF systems using diesel and biodiesel, *Transp Res D Transp Environ*, 14 (2009). <https://doi.org/10.1016/j.trd.2008.07.004>
- [9]. A. Ferrari, F. Paolicelli, Modal Analysis as a Design Tool for Dynamical Optimization of Common Rail Fuel Injection Systems, SAE Technical Papers, SAE International, (2015). <https://doi.org/10.4271/2015-24-2467>
- [10]. S. Han, J. Kim, J. Lee, A study on the optimal actuation structure design of a direct needle-driven piezo injector for a CRDi engine, *Applied Sciences (Switzerland)*, 7 (2017). <https://doi.org/10.3390/app7040320>
- [11]. H. Zhang, N. Lei, Z. Wang, Ammonia-hydrogen propulsion system for carbon-free heavy-duty vehicles, *Appl Energy*, 369 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123505>
- [12]. J. Shin, S. Park, Numerical analysis for optimizing combustion strategy in an ammonia-diesel dual-fuel engine, *Energy Convers Manag*, 284 (2023) 116980. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.116980>
- [13]. M. Elkelawy, E. A. El Shenawy, S. A. Mohamed, M. M. Elarabi, H. Alm-Eldin Bastawissi, Impacts of EGR on RCCI engines management: A comprehensive review, *Energy Conversion and Management: X*, 14 (2022) 100216. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2022.100216>
- [14]. M. M. Salahi, A. Gharehghani, Control of combustion phasing and operating range extension of natural gas PCCI engines using ozone species, *Energy Convers Manag*, 199 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112000>
- [15]. S. Jin, B. Wu, Z. Zi, P. Yang, T. Shi, J. Zhang, Effects of fuel injection strategy and ammonia energy ratio on combustion and emissions of ammonia-diesel dual-fuel engine, *Fuel*, 341 (2023) 127668. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.127668>
- [16]. J. A. Wloka, S. Pflaum, G. Wachtmeister, Potential and Challenges of a 3000 Bar Common- Rail Injection System Considering Engine Behavior and Emission Level, *SAE Int. J. Engines*, 3 (2010) 801–813. <https://doi.org/10.4271/2010-01-1131>
- [17]. M. G. Shatrov, A. Y. Dunin, T. Q. Nguyen, Effect of pressure boost on the diesel performance and gaseous emission with fuel spray pressure up to 3000 bar, in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, 832 (2020). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/832/1/012083>
- [18]. T.Q. Nguyen, Control the Combustion of Fuel Sprays in Power Plants, 2021 IEEE International Conference on Engineering Management of Communication and Technology (EMCTECH), (2021). <https://doi.org/10.1109/emctech53459.2021.9618982>
- [19]. N. T. Quynh, H. D. Le, A.Y. Dunin, Influences of injector geometry parameters on fuel injection characteristics and parameters of a diesel engine, *Transport and Communications Science Journal*, 74 (2023) 530–543. <https://doi.org/10.47869/tcsj.74.4.12>
- [20]. C. Zhai, Y. Jin, Q. Wu, K. Nishida, Y. Ogata, Diesel spray and combustion of multi-hole injectors with micro-hole under ultra-high injection pressure – Combustion characteristics, *Fuel*, 300 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120949>
- [21]. S. Brusca, A. Giuffrida, R. Lanzafame, G.E. Corcione, Theoretical and Experimental Analysis of Diesel Sprays behavior from Multiple Injections Common Rail System, *SAE Int. J. Engines*, (2002). <https://doi.org/10.4271/2002-01-2777>

- [22]. M. G. Shatrov, V. I. Malchuk, A. Y. Dunin, I.G. Shishlov, V. V. Sinyavski, A control method of fuel distribution by combustion chamber zones and its dependence on injection conditions, *Thermal Science*, 22 (2018) S1425–S1434. <https://doi.org/10.2298/TSCI18S5425S>
- [23]. T. Q. Nguyen, A. Y. Dunin, M. G. Shatrov, An Experimental Approach and a Signal Processing Method with the Common Rail Injection System of a Diesel Engine, *International journal of online and biomedical engineering*, 17 (2021) 19–31. <https://doi.org/10.3991/IJOE.V17I14.27401>
- [24]. P. Pavan, K. Bhaskar, S. Sekar, Effect of split injection and injection pressure on CRDI engine fuelled with POME-diesel blend, *Fuel*, 292 (2021) 120242. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120242>
- [25]. Q. Xu, M. Xu, S. Hung, S. Wu, X. Dong, H. Ochiai, Z. Zhao, C. Wang, K. Jin, Diesel Spray Characterization at Ultra-High Injection Pressure of DENSO 250 MPa Common Rail Fuel Injection System, *SAE Technical Papers*, (2017). <https://doi.org/10.4271/2017-01-0821>
- [26]. C. Zhai, E. Liu, G. Zhang, W. Xing, F. Chang, Y. Jin, H. Luo, K. Nishida, Y. Ogata, Similarity and normalization study of fuel spray and combustion under ultra-high injection pressure and micro-hole diameter conditions–spray characteristics, *Energy*, 288 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.129684>
- [27]. G. Ouyang, S. An, Z. Liu, Y. Li, *Common rail injection technology in diesel engines*, John Wiley & Son (Asia) Pte Ltd., National defense industry press, 2019.