

## Nghiên cứu chẩn đoán tình trạng kỹ thuật của hệ thống nhiên liệu động cơ D4DB bằng lý thuyết tập mờ

Research on status diagnostics of D4DB engine fuel system using the fuzzy theory

Nguyễn Tiến Hán\*, Nguyễn Xuân Tuấn, Ngô Quang Tạo, Nguyễn Thế Anh

*Khoa Công nghệ Ôtô, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội*

*\*Email: hannt@hau.edu.vn*

*Tel: 0912067289*

---

### Tóm tắt

#### *Từ khóa:*

Chẩn đoán kỹ thuật; Động cơ diesel; Hệ thống nhiên liệu; Lý thuyết tập mờ; Matlab.

Trong quá trình hoạt động, các tính năng kỹ thuật của hệ thống nhiên liệu động cơ Diesel dần dần thay đổi dần theo hướng xấu đi. Động cơ D4DB sử dụng nhiên liệu Diesel được sử dụng trên một số ô tô đang khai thác ở nước ta, việc chẩn đoán tốt có thể đánh giá đúng tình trạng kỹ thuật của hệ thống và các chi tiết, có khả năng dự báo chính xác những hư hỏng hoặc sự cố có thể xảy ra, từ đó định ra các chế độ bảo dưỡng sửa chữa thích hợp, đảm bảo tuổi thọ, độ tin cậy cho động cơ. Bài báo này đề cập đến việc nghiên cứu chẩn đoán hệ thống nhiên liệu (HTNL) động cơ D4DB dùng hệ mờ sử dụng tập dữ liệu “Vào - Ra”, nhằm xác định tình trạng kỹ thuật của các chi tiết trong hệ thống mà không phải tháo rời, tiết kiệm sức lao động, tính kinh tế và đảm bảo độ tin cậy. Bài báo sử dụng công cụ fuzzy trong phần mềm matlab để mô phỏng kết quả nghiên cứu.

---

### Abstract

#### *Keywords:*

Technical Diagnostics; Diesel Engine; Diesel Engine Fuel System; Fuzzy Theory; Matlab.

In the process of exploiting, the technical features of the diesel fuel system will gradually change in the direction of deterioration. D4DB diesel engine is used on some cars are exploited, the good diagnosis can properly evaluate the technical status of the system and details, which can accurately predict possible failures or problems, thereby identifying constraints. Proper maintenance and repairs ensure longevity and reliability of the system. The study deals with the application of fuzzy theory to the diagnosis of diesel fuel systems, in order to determine the technical state of the components in the system without sacrificing labor efficiency. economical and reliable. The article uses fuzzy tools in matlab to simulate research results.

---

Ngày nhận bài: 17/7/2018

Ngày nhận bài sửa: 12/9/2018

Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

---

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong quá trình khai thác, sử dụng tình trạng kỹ thuật của hệ thống nhiên liệu động cơ Diesel thay đổi dần theo hướng xấu đi, diễn ra liên tục dưới tác động của một số nguyên nhân sau:

- Ảnh hưởng của điều kiện làm việc: nhiệt độ, áp suất cao làm tăng độ mài mòn bơm cao áp, vòi phun...

- Ảnh hưởng của môi trường và trình độ sử dụng: độ ẩm, bụi bặm..., sự hiểu biết, thói quen của người sử dụng.

- Ảnh hưởng của công nghệ, chế tạo: vật liệu chế tạo, độ chính xác...

Trong thực tế khi chẩn đoán, con người (chuyên gia) thường có những đánh giá chủ quan, trực giác, kết quả phân tích chẩn đoán thường ước lượng, tùy ý (ví dụ: bơm dầu này bị hỏng, động cơ còn tốt...), và khi chẩn đoán ở ranh giới giữa các hỏng hóc thì thường mắc phải những sai lầm khi chẩn đoán những hư hỏng thuộc biên (khó chẩn đoán rõ ràng). Lý thuyết tập mờ cung cấp những công cụ chẩn đoán thích hợp và rất gần thực tế.

Việc ứng dụng lý thuyết tập mờ chẩn đoán gọi là “hệ chuyên gia” là nhu cầu thực tế và cấp thiết bởi những lý do sau:

- Có thể làm việc bất cứ lúc nào, không hạn chế thời gian làm việc.
- Có thể dễ dàng sao chép, lưu trữ và khó bị mất đi.
- Tổ hợp được tri thức của rất nhiều chuyên gia.

Năm 1965, giáo sư Lofti A.Zadeh đã đưa ra ý tưởng xây dựng cơ sở tính toán cho suy luận mờ và lý thuyết mờ do ông đề ra đã được trình bày trong nhiều tài liệu và sẽ được ứng dụng để xây dựng lên mô hình trợ giúp chẩn đoán kỹ thuật nói trên. Việc sử dụng lý thuyết này có những ưu điểm sau: Cho phép sử lý các thông tin định tính, dạng ngôn ngữ; Sử dụng logic suy diễn gắn liền với tri thức con người [1].

Những ứng dụng đầu tiên về điều khiển mờ của nhóm tác giả Mandani và Assilian năm 1974. Tiếp đó logic mờ được ứng dụng cho điều khiển lò nung xi măng của Larsen (1980); quản lý bãi đỗ xe của Sugeno (1984)... trong số những ứng dụng rất thành công của logic mờ còn phải kể đến bộ FLC (Fuzzy Logic Control) dùng trong quản lý sân bay của Clymer (1992); hệ điều khiển “The camera tracking control system” của NASA (1992)[2].

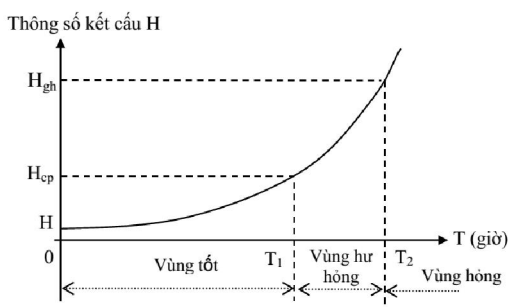
Hệ thống nhiên liệu động cơ diesel D4DB là một cụm chi tiết phức tạp, do đó cùng một lúc phân tích đầy đủ tất cả các chi tiết trong hệ thống đó thì bài toán chẩn đoán sẽ trở nên rất cồng kềnh, phức tạp, hơn nữa trong đó có những chi tiết ảnh hưởng không đáng kể đến sự thay đổi tình trạng kỹ thuật của động cơ hoặc các bộ phận này thường được thay thế, bảo dưỡng định kỳ, ví dụ như bộ lọc nhiên liệu, thùng chứa... Do đó bài báo nghiên cứu đến sự thay đổi tình trạng kỹ thuật của một số bộ phận chính như bơm cao áp, vòi phun và van.

## 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT CỦA NGHIÊN CỨU

### 2.1. Thông số kết cấu và thông số chẩn đoán

Thông số chẩn đoán (ký hiệu là C) là các thông số biểu hiện kết cấu, biểu thị các quá trình lý hóa, các thông số này con người hay thiết bị đo có thể nhận biết, đo đạc.

Thông số kết cấu (ký hiệu là H) là các biến Ra dùng để đánh giá tình trạng kỹ thuật của đối tượng chẩn đoán; được biểu thị bằng các đại lượng vật lý, thông qua giá trị có thể xác định được chúng về: kích thước (độ dài, diện tích, thể tích); cơ (lực, áp suất, tần số, biên độ); nhiệt (độ, calo); điện (điện trở, cường độ, điện áp)... Trong quá trình sử dụng giá trị của thông số kết cấu thay đổi từ giá trị ban đầu  $H_0$  đến giá trị giới hạn  $H_{gh}$  (từ mới đến hỏng) là hàm số tương quan với thời gian làm việc (hình 1).



**Hình 1.** Biểu diễn quan hệ giữa thông số kết cấu và thời gian làm việc

$H_0$  : giá trị thông số kết cấu ban đầu do nhà sản xuất quy định;

$H_{cp}$  : giá trị cho phép và là ranh giới xuất hiện hư hỏng;

$H_{gh}$  : giá trị tới hạn và là giới hạn mất khả năng làm việc (hư hỏng).

$0T_1$  : Thời gian làm việc không hỏng;

$T_1T_2$  : Thời gian làm việc có hư hỏng;

## 2.2. Hệ mờ sử dụng tập dữ liệu “Vào - Ra”

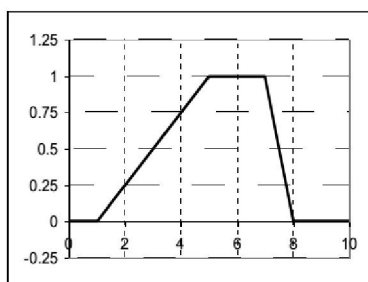
Các biến “Vào” là các thông số chẩn đoán - thông số biểu hiện của kết cấu; tuy nhiên không phải toàn bộ các thông số biểu hiện của kết cấu sẽ được coi là thông số chẩn đoán [3].

Các biến “Ra” là các thông số kết cấu.

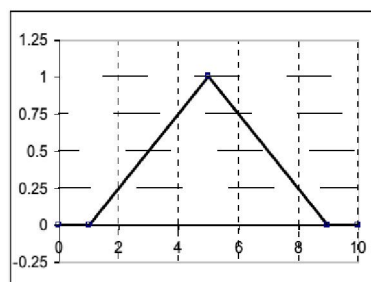
Giả sử đối tượng cần nghiên cứu có sẵn tập dữ liệu gồm  $n$  cặp:  $(x_{i0}, y_{i0})$  với  $i = 1, 2, \dots, n$ , là các biến “Vào” và các biến “Ra”. Nghiên cứu đối tượng bằng logic mờ dựa trên tập dữ liệu “Vào - Ra” chính là việc xây dựng một hệ mờ xác định mối quan hệ giữa các biến “Vào” và các biến “Ra”:  $y = f(x)$ .

Mỗi biến “Vào” và “Ra” được định lượng bằng các tập mờ con (giá trị ngôn ngữ): “Tốt”, “Khá”, “Trung bình”, “Yếu”; và được ký hiệu lần lượt là:  $T, K, TB, Y$ .

Dạng hàm thuộc của các tập mờ (hình 2) được lựa chọn dạng hình thang - Trapmf (hình 2a), dạng hình tam giác - Trimf (hình 2b), dưới đây [4]:



(a) Hàm thuộc dạng trapmf



(b) Hàm thuộc dạng trimf

**Hình 2.** Các dạng hàm thuộc

Các thông số nêu trên đều có các giá trị vật lý bao gồm: trị số đang khai thác  $X$ , trị số xác định trạng thái kỹ thuật còn mới  $X_0$ , trị số xác định giới hạn thay thế hoặc bảo dưỡng sửa chữa  $X_{gh}$ . Một chi tiết hoặc một cụm chi tiết được phép khai thác khi:  $X_0 < X < X_{gh}$  [4].

Khoảng chênh lệch  $\delta_x = |X_{gh} - X_0|$  được xem là khoảng giá trị cho phép và được quy đổi thành khoảng giá trị:  $0 \div 100\%$ ; Trị số 100% là giới hạn phải bảo dưỡng, sửa chữa hoặc thay mới chi tiết, còn trị số 0% là trạng thái kỹ thuật lúc mới.

### 2.3. Luật điều khiển và quy tắc hợp thành

Khối luật điều khiển mờ bao gồm các tập luật “Nếu...Thì...”. Đây là phần cốt lõi của hệ mờ, luật điều khiển có thể có một biến ở phần điều kiện “Nếu...” và một biến ở phần kết luận “Thì...” thì hệ mờ tương ứng là hệ đơn biến (SISO: single Input - Single Output). Nếu luật điều khiển có nhiều biến ở phần điều kiện và nhiều biến ở phần kết luận, hệ mờ tương ứng là hệ đa biến (MIMO: Multi Input - Multi Output) [3].

Chọn quy tắc hợp thành Mandani để tìm hàm liên thuộc hợp thành tín hiệu ra. Có hai quy tắc tính hàm liên thuộc hợp thành nhưng quy tắc MIN [4], được sử dụng trong nghiên cứu này.

## 3. HỆ MỜ CHẨN ĐOÁN TÌNH TRẠNG KỸ THUẬT HTNL CỦA ĐỘNG CƠ D4DB VÀ MÔ PHỎNG KẾT QUẢ CHẨN ĐOÁN

### 3.1. Xây dựng hệ mờ chẩn đoán

Sơ đồ quy trình xây dựng hệ mờ chẩn đoán HTNL động cơ D4DB như hình 3.



Hình 3. Sơ đồ quy trình xây dựng hệ mờ chẩn đoán

Theo [5], các thông số chẩn đoán đối với HTNL động cơ Diesel, chúng ta có thể lựa chọn các thông số chẩn đoán - biến “Vào” gồm: công suất động cơ, tiêu hao nhiên liệu, màu sắc khí xả, nhiệt độ khí xả, tiếng gõ động cơ.

Các thông số kết cấu - biến “Ra” là các hư hỏng chính cần quan tâm như: xilanh, piston bơm cao áp, hồng van triệt hồi, hồng vòi phun, sai áp suất phun, sai góc phun sớm, độ không đồng đều. Các biến mờ đánh giá HTNL gồm 5 biến “Vào” và 6 biến “Ra” được cho bởi bảng 1.

Bảng 1. Biến mờ đánh giá hệ thống nhiên liệu động cơ D4DB

STT	Ký hiệu	Tên biến ngôn ngữ	Tên viết tắt	Kiểu biến	Đơn vị
1	$c_1$	Suy giảm công suất động cơ	CS	Vào	%
2	$c_2$	Tiêu thụ nhiên liệu tăng	N.lieu	Vào	%
3	$c_3$	Màu sắc khí xả	MSKX	Vào	%
4	$c_4$	Nhiệt độ khí xả	NDKX	Vào	%
5	$c_5$	Tiếng gõ động cơ	Tiengon	Vào	%
6	$h_1$	Mòn xilanh, piston	P-XL	Ra	%
7	$h_2$	Hồng van triệt hồi	VAN	Ra	%
8	$h_3$	Hồng vòi phun	VP	Ra	%
9	$h_4$	Sai áp suất phun	Pf	Ra	%
10	$h_5$	Sai góc phun sớm	Phi	Ra	%
11	$h_6$	Độ không đồng đều	KDD	Ra	%

Đặc trưng của tập biến “Vào” và biến “Ra” được trình bày trong bảng 2 và bảng 3.

**Bảng 2.** Tập mờ ngôn ngữ của biến “Vào”

Đặc trưng	Tập mờ biến “Vào” (c)			
	$c_i$	$c_i$	$c_i$	$c_i$
Ký hiệu ( $i = 1 \div 5$ )				
Thông số (%)	0-0-20-40	20-40-60	40-60-80	60-80-100-100
Ngôn ngữ	Tốt	Khá	Trung bình	Yếu
Miền xác định (%)	0-40	20-60	40-80	60-100

**Bảng 3.** Tập mờ ngôn ngữ của biến “Ra”

Đặc trưng	Tập mờ biến “Ra” (h)			
	$h_i$	$h_i$	$h_i$	$h_i$
Ký hiệu ( $i = 1 \div 6$ )				
Thông số (%)	0-0-20-40	20-40-60	40-60-80	60-80-100-100
Ngôn ngữ	Tốt	Khá	Trung bình	Yếu
Miền xác định (%)	0-40	20-60	40-80	60-100

Tập luật của hệ mờ được xây dựng trên cơ sở tiến hành khảo sát trên động cơ D4DB, với các số liệu của động cơ mới, động cơ đến kỳ đại tu hoặc hư hỏng [6]; kinh nghiệm vận hành, bảo dưỡng sửa chữa; dữ liệu thực nghiệm và ý kiến chuyên gia [7]. Tập luật của hệ mờ được xây dựng gồm 44 luật thể hiện trong bảng 4.

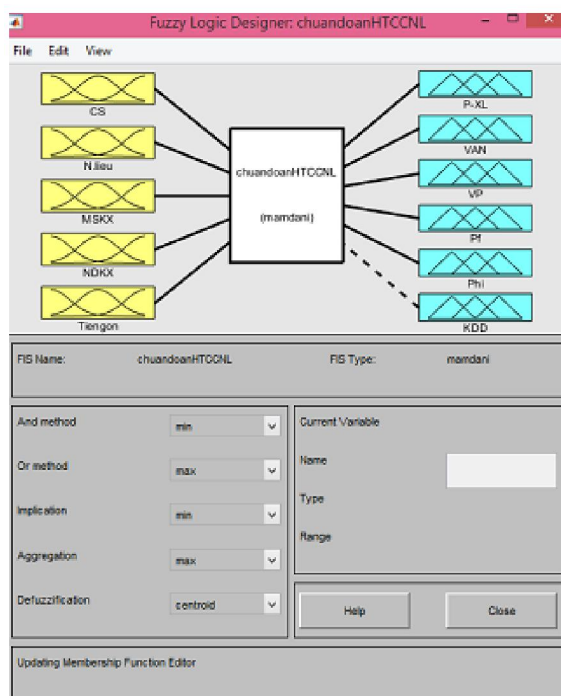
**Bảng 4.** Tập luật của bộ chẩn đoán mờ HTNL động cơ D4DB

STT	$c_2$	$c_1$	$c_3$	$c_4$	$c_5$	$h_1$	$h_2$	$h_3$	$h_4$	$h_5$	$h_6$
1	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
2	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
3	T	K	K	T	T	T	K	T	T	T	T
4	K	K	K	K	T	T	TB	T	T	T	T
5	K	TB	TB	K	T	T	Y	T	T	T	T
6	K	K	K	K	T	T	T	K	T	T	T
7	TB	TB	TB	TB	T	T	T	TB	T	T	T
8	Y	Y	Y	Y	T	T	T	Y	T	T	T
9	K	K	K	K	T	T	T	T	K	T	T
10	TB	TB	TB	TB	T	T	T	T	TB	T	T
11	Y	Y	Y	Y	T	T	T	T	Y	T	T
12	K	K	K	K	K	T	T	T	T	K	T
13	TB	TB	TB	TB	TB	T	T	T	T	TB	T
14	Y	Y	Y	Y	Y	T	T	T	T	Y	T
15	K	K	T	T	K	T	T	T	T	T	TB
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
40	K	K	-	-	TB	-	-	-	-	-	TB
41	TB	TB	-	-	TB	-	-	-	-	-	Y
42	K	K	K	K	K	-	-	K	-	-	-
43	TB	TB	TB	TB	TB	-	-	TB	-	-	-
44	Y	Y	Y	Y	Y	-	-	Y	-	-	-

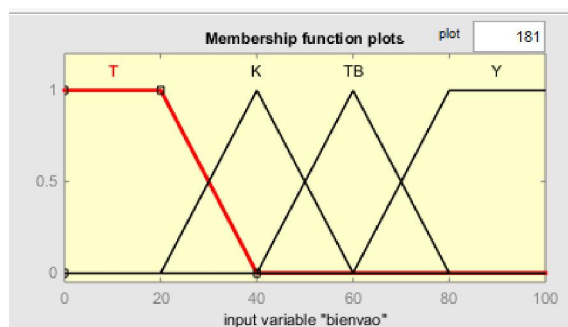
### 3.2. Mô phỏng kết quả chẩn đoán

Trong nghiên cứu của bài báo, tác giả sử dụng công cụ fuzzy trong Matlab để mô phỏng kết quả chẩn đoán.

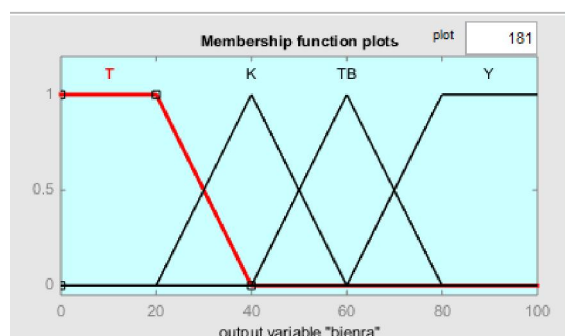
Hình 4 biểu thị màn hình chính của fuzzy gọi từ Matlab, hình 5 thể hiện đặc trưng biến mờ thông số chẩn đoán - biến “Vào”, hình 6 thể hiện đặc trưng biến mờ thông số kết cấu - biến “Ra”.



**Hình 4.** Màn hình Fuzzy với các biến vào ra và luật hợp thành Mandani

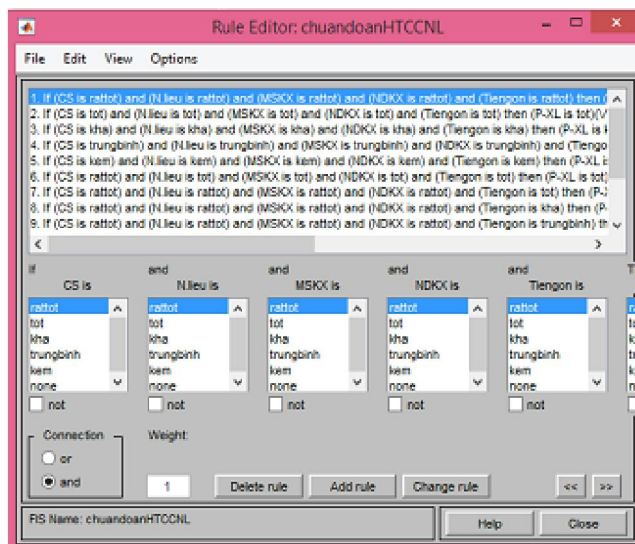


**Hình 5.** Đặc trưng biến mờ thông số chẩn đoán



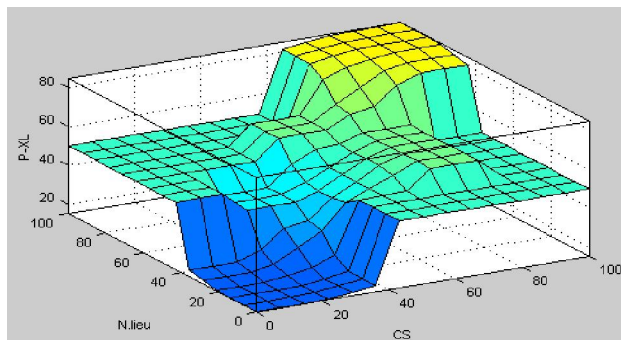
**Hình 6.** Đặc trưng biến mờ thông số kết cấu (Ra)

Khối luật điều khiển được soạn thảo dựa trên tập luật của bộ chẩn đoán mờ ở bảng 4 theo nguyên tắc Mandani (thực hiện các phép tính của logic mờ) hình 7.

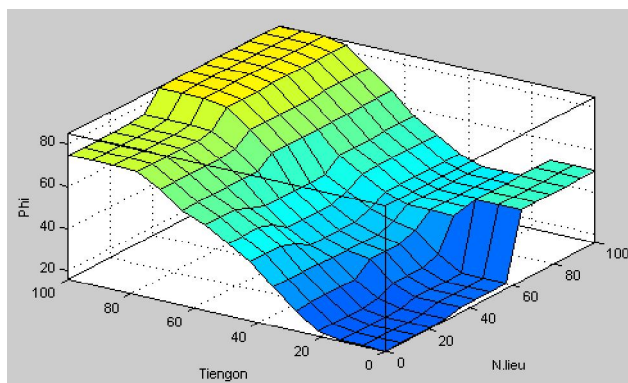


**Hình 7.** Khối luật điều khiển theo nguyên tắc Mandani

Kết quả mô phỏng được biểu diễn trên đồ thị ba chiều hình 8, hình 9 và đồ thị hai chiều hình 10. Hình 8 thể hiện công suất càng giảm và tiêu hao nhiên liệu càng tăng khi Piston-xilanh bơm cao áp mòn càng nhiều. Hình 9 thể hiện góc phun sớm càng lớn thì tiêu hao nhiên liệu càng tăng và tiếng gõ động cơ càng nhiều.

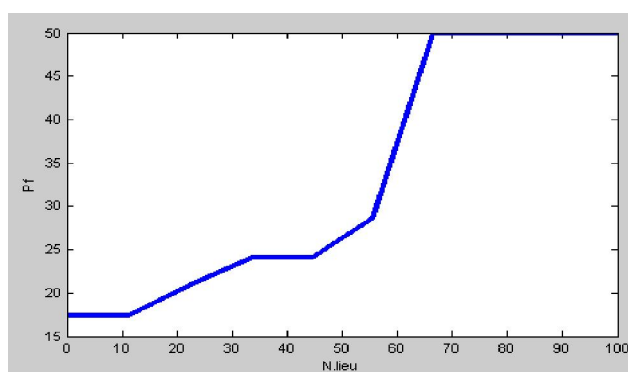


**Hình 8.** Quan hệ giữa công suất và tiêu hao nhiên liệu với mòn Piston-xilanh bơm cao áp



**Hình 9.** Quan hệ giữa tiêu hao nhiên liệu và tiếng gõ động cơ với góc phun sớm

Đồ thị hai chiều hình 10 thể hiện tiêu hao nhiên liệu tăng khi áp suất phun nhiên liệu yếu:



Hình 10. Quan hệ giữa tiêu hao nhiên liệu với áp suất phun

#### 4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày cơ sở lý thuyết mờ cho việc chẩn đoán kỹ thuật hệ thống cung cấp nhiên liệu động cơ Diesel; Xây dựng được tập luật điều khiển (44 luật) cho bộ chẩn đoán mờ hệ thống nhiên liệu động cơ D4DB; Bài báo sử dụng công cụ Fuzzy trong phần mềm Matlab để mô phỏng đưa ra một số kết quả chẩn đoán cho thấy các giá trị theo hướng tương đối chính xác và tin cậy, khẳng định tính khoa học của phương pháp chẩn đoán ứng dụng lý thuyết tập mờ, tuy nhiên nghiên cứu còn một số hạn chế sau:

- Cần tiến hành thực nghiệm trên nhiều loại động cơ để đảm bảo sự chính xác của các luật điều khiển.

- Bổ sung và chính xác hóa một số luật điều khiển trên cơ sở tiến hành các thực nghiệm và số liệu thực tế của các cơ sở bảo dưỡng sửa chữa.

Hướng nghiên cứu tiếp theo sẽ xây dựng phần mềm chẩn đoán hoàn chỉnh (được đóng gói) để phục vụ trong công tác chẩn đoán kỹ thuật.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Lofti A.Zadeh Fuzzy sets. Information and control. 1965; 8:338-353.
- [2]. Nguyễn Văn Tuấn, *Nghiên cứu ảnh hưởng của hệ thống trao đổi khí đến các chỉ tiêu kỹ thuật của động cơ Diesel tàu thủy đang khai thác tại Việt nam*. Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Hàng hải 2005.
- [3]. Phạm Thị Thu Hương, Nguyễn Văn Bang, Bùi Quang Vinh, Phạm Thanh Hà, Nguyễn Hiếu Cường (1999), *Nghiên cứu xây dựng hệ trợ giúp chẩn đoán tình trạng kỹ thuật các phương tiện giao thông vận tải trên cơ sở logic mờ*, Đề tài nghiên cứu khoa học cấp bộ B99-45-94.
- [4]. Phạm Xuân Minh, Nguyễn Doãn Phước, *Lý thuyết điều khiển mờ*, Nhà xuất bản Khoa học kỹ thuật - 2006.
- [5]. Lê Hoài Đức, *Chẩn đoán và Bảo dưỡng kỹ thuật động cơ đốt trong*, Trường Đại học Giao thông vận tải, 2008.
- [6]. Hyundai Motor Co., Inc, *Cẩm nang sửa chữa động cơ Hyundai D4DB*, tháng 3/2004.
- [7]. Nguyễn Xuân Tuấn, *Ứng dụng lý thuyết tập mờ trong chẩn đoán trạng thái kỹ thuật của hệ thống cung cấp nhiên liệu động cơ Diesel*, Luận văn thạc sĩ kỹ thuật 2009.