

KẾT QUẢ TÍNH TOÁN CÁC THÔNG SỐ CÔNG TÁC CỦA ĐỘNG CƠ DIESEL KHI TÀU NGẦM HOẠT ĐỘNG Ở CHẾ ĐỘ ỒNG THỜ

CALCULATION RESULTS OF THE DIESEL ENGINE PERFORMANCE DURING THE OPERATION OF THE SUBMARINE IN THE SCHNORKEL

NGUYỄN HÀ HIỆP^{1*}, MAI VŨ ĐỨC², PHÙNG VĂN ĐƯỢC¹

¹Khoa Động lực, Học viện Kỹ thuật quân sự

²Quân chủng Hải quân

*Email liên hệ: hahiepshippower@gmail.com

Tóm tắt

Bài báo trình bày kết quả xây dựng mô hình tính toán chu trình công tác và tính toán các thông số công tác động cơ diesel 7-2D42 lai máy phát điện khi tàu ngầm hoạt động ở chế độ ống thở. Mô hình đã xây dựng đảm bảo độ tin cậy, kết quả tính toán chỉ ra rằng, khi tàu chuyển từ chế độ nổi sang ống thở công suất của động cơ giảm gần 12%, để duy trì công suất ban đầu cần bổ sung 13,5% nhiên liệu, hiệu suất có ích của động cơ giảm trên 11%.

Từ khóa: Mô hình, diesel, động cơ, ống thở.

Abstract

This article presents the results of building a model for calculating the operating cycle and calculating the engine performance parameters of the 7-2D42 diesel-generator when the submarine is operating in the schorkel. The constructed model is provided with reliability, the calculation results show that when the submarine switches from surface to schorkel mode, the engine power decreases by almost 12%, to maintain the original power, it is necessary to add 13.5% of fuel, and the engine efficiency decreases by more than 11%.

Keywords: Model, diesel, engine, schorkel.

1. Mở đầu

Tàu ngầm (TN) là loại phương tiện thủy đặc biệt có thể hoạt động ở cả hai chế độ nổi trên mặt nước như một tàu thủy bình thường và lặn sâu trong nước.

Đối với TN diesel-điện truyền thống, thời gian hoạt động ngầm hạn chế do giới hạn dự trữ điện năng trong ắc quy. Để sạc ắc quy, TN phải nổi lên mặt biển hoạt động ở chế độ tuần dương hoặc hoạt động khi “làm việc của động cơ diesel dưới nước” [1]. Ở chế độ này TN ở độ sâu an toàn và sử dụng thiết bị nâng hạ đóng vai trò như một ống thở (schnorkel) để hút không khí và sử dụng đường ống dẫn khí thải ở một độ sâu nhất định dưới nước để thải khí thải (nhằm tăng

tính bí mật). Chế độ này được gọi là chế độ ống thở.

Khi động cơ diesel chuyển từ chế độ nổi (hút trực tiếp không khí và thải khí xả ra khí quyển) sang chế độ ống thở (hút không khí qua ống thở và thải khí xả ngầm dưới nước), các yếu tố kết cấu và vận hành sẽ ảnh hưởng đến sự làm việc của động cơ. Sự ảnh hưởng này thể hiện qua các thông số công tác của động cơ như công suất có ích (N_e), suất tiêu thụ nhiên liệu có ích (g_e), hiệu suất có ích (η_e) của động cơ.

Mục đích nghiên cứu là đánh giá định lượng sự thay đổi các thông số công tác của động cơ diesel trên TN khi hoạt động ở chế độ bình thường (nổi trên mặt nước) và chế độ ống thở (ngầm sử dụng ống thở).

Phương pháp nghiên cứu là kết hợp giữa nghiên cứu lý thuyết, tính toán kiểm chứng trên phần mềm máy tính. Với các thông số kỹ thuật chính của động cơ tiến hành xây dựng mô hình tính toán chu trình công tác (CTCT) của động cơ trên phần mềm ở chế độ bình thường. So sánh kết quả tính toán với kết quả thử nghiệm theo hồ sơ máy của nhà sản xuất để đánh giá độ tin cậy của mô hình. Mô hình đã xây dựng được hiệu chỉnh đảm bảo độ tin cậy là công cụ để tính CTCT ở chế độ ống thở.

2. Đối tượng nghiên cứu, công cụ sử dụng

Đối tượng nghiên cứu là động cơ diesel 7-2D42 dùng dẫn động máy phát điện được sản xuất tại Liên bang Nga. Đây là động cơ diesel 4 kỳ, tăng áp 2 cấp nén bằng tua bin khí thải và có làm mát khí tăng áp, buồng cháy thống nhất, 6 xi lanh bố trí thẳng hàng, phun nhiên liệu trực tiếp. Động cơ có tỉ số nén $\epsilon = 16$, công suất định mức 1500kW tại tốc độ quay trục khuỷu 750 (v/ph) [2]. Các thông số kỹ thuật chính của động cơ 7-2D42 được thể hiện trong Bảng 1.

Trong nghiên cứu này sử dụng phần mềm Diesel-RK [3]. Đây là phần mềm tính toán CTCT động cơ đốt trong do các chuyên gia của Đại học Kỹ thuật Quốc gia Bauman - Liên bang Nga phát triển và đã được nhiều cơ sở chuyên nghiên cứu phát triển, sản xuất động cơ sử dụng.

Phần mềm Diesel-RK sử dụng mô hình tạo hỗn

hợp và cháy hiệu quả, đó là mô hình cháy đa vùng dựa trên mô hình tạo hỗn hợp và cháy của Giáo sư Razleitsev, được tác giả Kuleshov bổ sung và phát triển nên còn được gọi là mô hình Razleitsev-Kuleshov (mô hình cháy RK). Mô hình cháy RK đã xem xét chi tiết các thông số ảnh hưởng đến quá trình tạo hỗn hợp và cháy trong động cơ diesel, bao gồm: Thuộc tính và quy luật cung cấp nhiên liệu, hình dạng buồng cháy; hình dạng và phân bố tia phun; sự va chạm của tia phun với bề mặt buồng cháy; sự tương tác giữa các tia phun liền kề; loại và cường độ vận động rối trong xi lanh [4].

Bảng 1. Thông số kỹ thuật chính của động cơ

Thông số kỹ thuật	Giá trị
Tên động cơ theo Nhà máy sản xuất	7-2D42
Số lượng xi lanh, <i>i</i>	6
Đường kính xi lanh, mm	300
Hành trình của pít tông, mm	380
Thể tích công tác của động cơ, dm ³	161,16
Thứ tự làm việc của xi lanh	1-5-3-6-2-4
Công suất định mức, Ne, kW	1500
Tốc độ quay trục khuỷu tại công suất định mức, n, vg/ph	750
Góc phun sớm nhiên liệu, °GQTK	14 ÷ 19
Suất tiêu thụ nhiên liệu, ge, g/kW.h	243
Tốc độ quay ổn định nhỏ nhất, vg/ph	420

3. Xây dựng và kiểm tra mô hình tính toán

Động cơ 7-2D42 dẫn động máy phát điện nên hoạt động thường xuyên ở chế độ tải định mức. Mô hình tính toán được xây dựng cho chế độ làm việc định mức của động cơ. Các tham số cần thiết để xây dựng mô hình được lấy từ Bảng 1 và tài liệu [2].

Lượng nhiên liệu cung cấp cho 1 CTCT được xác định bằng công thức:

$$g_{ct} = \frac{g_e N_e}{30in}, g$$

Dựa vào Bảng 1, tính toán $g_{ct} = 2,7015g/CTCT$.

Quy luật cung cấp nhiên liệu được khai báo theo biên dạng cam, các đường ống nạp, thải và các thông số kết cấu khác của động cơ được khai báo dựa trên tập bản vẽ động cơ [5], cũng như được đo đạc trực tiếp trên động cơ (chiều dài cửa nạp, thải; đường kính ống góp; chiều dài ống dẫn khí nạp, khí thải; số lượng và kích thước lỗ phun; các thông số hình học của buồng cháy dạng ω).

Sau khi chạy phần mềm, kết quả thu được là các thông số đánh giá CTCT và sự làm việc của động cơ. Các thông số công tác chính của động cơ được thể

hiện trên Hình 1.

PARAMETERS OF EFFICIENCY AND POWER		
750.00	- RPM	- Engine Speed, rev/min
1502.7	- P_eng	- Piston Engine Power, kW
14.919	- BMEP	- Brake Mean Effective Pressure, bar
19135.	- Torque	- Brake Torque, N m
2.7015	- m_f	- Mass of Fuel Supplied per cycle, g
0.24269	- SFC	- Specific Fuel Consumption, kg/kWh
0.21827	- SFC_ISO	- Specific Fuel Consumption in ISO, kg/kWh
0.34739	- Eta_f	- Efficiency of piston engine
18.023	- IMEP	- Indicated Mean Effective Pressure, bar
0.41968	- Eta_i	- Indicated Efficiency
9.5000	- Sp	- Mean Piston Speed, m/s
2.2650	- FMEP	- Friction Mean Effective Pressure, bar (Intern.Exp)
0.86819	- Eta_m	- Mechanical Efficiency of Piston Engine

Hình 1. Các thông số công tác ở chế độ nổi

Trong Bảng 2 là kết quả so sánh giữa kết quả tính toán và thử nghiệm trong hồ sơ máy của nhà sản xuất động cơ [2]. Trong đó, chỉ ra sai số giữa hai kết quả.

Bảng 2. So sánh kết quả tính toán và hồ sơ

Thông số	n = 750 vg/ph		
	Ne, kW	ge, g/kW.h	ηe
Tính toán	1502,7	242,69	0,35
Hồ sơ	1500	243	-
SS, %	0,2	0,13	-

Từ kết quả so sánh trong Bảng 2 cho thấy, mô hình tính toán CTCT của động cơ ở chế độ định mức cho sai số rất nhỏ so với thông số kỹ thuật do nhà sản xuất công bố. Điều này khẳng định mô hình tính toán đã xây dựng có độ tin cậy cao.

4. Tính toán ở chế độ ống thờ

Như đã đề cập trong phần 1, khi động cơ diesel chuyển từ chế độ nổi sang chế độ lặn ngầm sử dụng ống thờ, các yếu tố kết cấu và vận hành sẽ ảnh hưởng đến sự làm việc của động cơ. Thông qua phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến sự làm việc của động cơ diesel khi làm việc trong điều kiện môi trường khí quyển [7] và ảnh hưởng của chúng đến sự làm việc của động cơ diesel khi chuyển sang chế độ ống thờ [1, 8], tiến hành tổng hợp thành Bảng 3.

Khi động cơ diesel chuyển sang chế độ ống thờ do thay đổi hình dạng, kích thước của đường nạp, đường thải nên sự ảnh hưởng của chúng tới CTCT và các thông số công tác của động cơ là chủ yếu. Các yếu tố kết cấu khác hầu như không ảnh hưởng hoặc ảnh hưởng không đáng kể đến sự làm việc của động cơ.

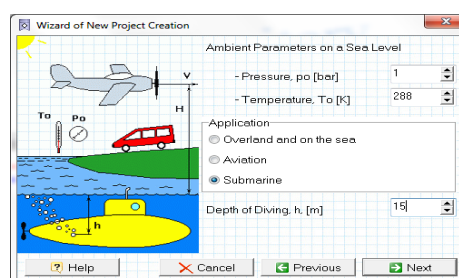
Độ sâu lặn ở chế độ ống thờ là 15m [6] nên chiều dài đường ống nạp tăng thêm 15m. Ở chế độ nổi, khí thải được dẫn lên phần trên tháp bao buồng chỉ huy và xả trực tiếp ra không khí. Ở chế độ ống thờ khí thải được thải qua đường ống dẫn khí thải dưới nước ở độ sâu khoảng 2,5m, tức là ống thải dài thêm 15-2,5 = 12,5m so với vị trí nổi và bổ sung áp suất đối áp trên đường thải là 0,25at.

Bảng 3. Tổng hợp các yếu tố ảnh hưởng đến sự làm việc của động cơ

Các yếu tố	Chế độ	
	Nổi	Ổng thờ
<i>Các yếu tố kết cấu</i>		
Kết cấu buồng cháy	+	=
Kích thước xi lanh	+	=
Tỷ số nén của động cơ	+	=
Vật liệu pít tông và nắp máy	+	=
Chiều dài đường ống cao áp	+	=
Vận tốc và đường kính của pít tông bơm cao áp	+	=
Kích thước và số lỗ phun	+	=
Diện tích các lỗ phun	+	=
Áp suất nén ban đầu của lò xo vòi phun	+	=
Chất lượng phun toi và thời gian cung cấp nhiên liệu	+	↕
Hình dạng, kích thước của đường nạp	+	↓
Tỷ số giữa tiết diện lưu thông của xu páp nạp và tiết diện ngang của pít tông	+	=
Tăng áp cho động cơ	+	↓
Pha phối khí	+	=
<i>Các yếu tố vận hành</i>		
Tình trạng kỹ thuật	+	=
Nhiệt độ môi trường	+	=
Áp suất môi trường	+	↓
Tốc độ quay của động cơ	+	=
Phụ tải trên động cơ	+	=
Công suất dẫn động các cơ cấu treo	+	↕
Áp suất của khí thải trên đường thải và áp suất của khí sót trong xi lanh	+	↓
Nhiệt độ của khí sót	-	↕
Áp suất khí nạp mới	+	↓
Lượng khí nạp mới	+	↓
Áp suất cuối quá trình nạp	+	↓
Chế độ làm việc không ổn định của động cơ	+	=
Áp suất phun nhiên liệu	+	↕
Góc phun sớm nhiên liệu	+	=
Áp suất của khí nén trong buồng cháy	+	↓
Tính chất của nhiên liệu	+	↕
<i>Ghi chú:</i>		
(+) có ảnh hưởng; (-) ảnh hưởng không đáng kể; (=) không thay đổi ảnh hưởng khi chuyển chế độ;		
(↑) ảnh hưởng tốt hơn khi chuyển chế độ ồng thờ; (↓) ảnh hưởng xấu đi khi chuyển chế độ ồng thờ;		
(↕) ảnh hưởng không đáng kể khi chuyển chế độ ồng thờ.		

Toàn bộ thay đổi trên được khai báo trong mô hình tính toán CTCT đã xây dựng, ví dụ như trên Hình 2, khai báo về độ sâu lặn của TN.

Sau khi khai báo chế độ hoạt động ngầm và các yếu tố ảnh hưởng khác, tiến hành tính toán CTCT của động cơ. Các thông số công tác chính của động cơ khi hoạt động ở chế độ ồng thờ được thể hiện trên Hình 3



Hình 2. Khai báo chế độ hoạt động ngầm

PARAMETERS OF EFFICIENCY AND POWER		
750.00	- RPM	- Engine Speed, rev/min
1323.4	- P_eng	- Piston Engine Power, kW
13.139	- BMEP	- Brake Mean Effective Pressure, bar
16852.	- Torque	- Brake Torque, N m
2.7015	- m_f	- Mass of Fuel Supplied per cycle, g
0.27957	- SFC	- Specific Fuel Consumption, kg/kWh
0.22937	- SFC_ISO	- Specific Fuel Consumption in ISO, kg/kWh
0.30594	- Eta_f	- Efficiency of piston engine
17.487	- IMEP	- Indicated Mean Effective Pressure, bar
0.40719	- Eta_i	- Indicated Efficiency
9.5000	- Sp	- Mean Piston Speed, m/s
2.2680	- FMEP	- Friction Mean Effective Pressure, bar (Intern.Exp)
0.85279	- Eta_m	- Mechanical Efficiency of Piston Engine

Hình 3. Các thông số công tác ở chế độ ồng thờ

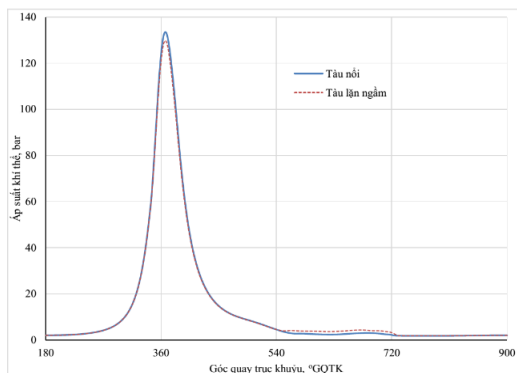
5. So sánh kết quả tính toán và bàn luận

Kết quả tính toán ở chế độ nổi và chế độ ồng thờ được so sánh trong Bảng 4. Trong đó gồm các ký hiệu: M_e - mô men xoắn, η_m - hiệu suất cơ khí, p_e - áp suất có ích trung bình; p_i - áp suất chỉ thị trung bình; các ký hiệu còn lại như đã trình bày ở các phần trên.

Bảng 4. So sánh các thông số công tác của động cơ

Thông số	Đơn vị	Chế độ		Tăng (+) Giảm (-), %
		Nổi	ồng thờ	
n	vg/ph	750	750	-
N_e	kW	1502,7	1323,4	- 11,9
M_e	N.m	19135	16852	- 11,9
g_e	g/kW.h	242,69	275,57	+ 13,5
η_e	-	0,35	0,31	- 11,4
η_m	-	0,868	0,853	- 1,73
p_e	bar	14,919	13,139	-11,9
p_i	bar	18,023	17,487	- 3,0

Kết quả so sánh cho thấy, khi chuyển sang chế độ ồng thờ từ chế độ nổi, do sức cản trên đường nạp và thải, cũng như đối áp trên đường thải khi động cơ thải khí thải ngầm dưới nước làm cho công suất, mô men xoắn, áp suất có ích trung bình giảm 11,9%, suất tiêu thụ nhiên liệu có ích tăng 13,5%, hiệu suất có ích của động cơ giảm 11,4%.



Hình 4. Diễn biến áp suất trong xi lanh

Các thông số trên suy giảm là do chất lượng CTCT của động cơ kém đi, cụ thể, áp suất khí thể trong xi

lanh giảm, đặc biệt trong giai đoạn cháy chính (Hình 4). Trên Hình 4 ta thấy, áp suất cháy cực đại giảm từ 135 bar xuống 130 bar, tương đương giảm 3,8%, trung bình giảm 3% (p_i trong Bảng 4).

Không những chất lượng CTCT giảm mà còn tình trạng kỹ thuật của động cơ cũng xấu đi (thể hiện qua hiệu suất cơ khí trên Hình 1 và 3, cũng như trong Bảng 4), kết quả là hiệu suất có ích của động cơ giảm 11,4%.

6. Kết luận

Mô hình tính toán CTCT của động cơ diesel lai máy phát điện đã xây dựng đảm bảo độ tin cậy.

Kết quả cho thấy khi tàu ngầm chuyển sang chế độ ồng thờ, do có sức cản trên đường nạp và thải, cũng như đối áp trên đường thải nên công suất có ích của động cơ giảm gần 12%, để duy trì công suất 1500kW cần bổ sung 13,5% nhiên liệu.

Khi chuyển sang chế độ ồng thờ không những chất lượng CTCT xấu đi mà còn hiệu suất cơ khí cũng giảm dẫn đến hiệu suất có ích của động cơ giảm trên 11%.

Kết quả tính toán là cơ sở để khuyến cáo trong khai thác hiệu quả động cơ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]Кормилицин Ю.Н., Хализев О.А. *Устройства подводных лодок*. СПб.: Элмор, - 280 с, 2009.
 [2]*Дизель-генератор 30ДГМ. Техническое описание*. ОАО "Коломенский завод", 2015.
 [3]<http://www.diesel-rk.bmstu.ru> [truy cập 16.6.21].
 [4]Kuleshov A.S. *Model for predicting air-fuel mixing, combustion and emission in DI diesel engines over whole operating range*, SAE International 2005-01-2119, 2004.
 [5]*Дизель-генератор 30ДГМ. Техническое описание. Альбом иллюстраций*. ОАО "Коломенский завод", 2015.
 [6]*Дизель-генератор 30ДГМ. Инструкция по техническому обслуживанию*. ОАО "Коломенский завод", 2015.
 [7]Nguyễn Tất Tiến. *Nguyên lý động cơ đốt trong*, NXB Giáo dục Việt Nam, 2003.
 [8]Дядик А.Н., Замуков В.В., Дядик В. А. *Корабельные воздухонезависимые энергетические установки*. СПб.: Судостроение, - 424 с, 2006.

Ngày nhận bài:	16/6/2021
Ngày nhận bản sửa:	09/8/2021
Ngày duyệt đăng:	13/8/2021