

Nghiên cứu ảnh hưởng của một số yếu tố khai thác động cơ diesel đến ô nhiễm môi trường khí quyển

TS. Máy trưởng NGUYỄN HỒNG PHÚC
Đại học Hàng hải Việt Nam

Nghiên cứu ảnh hưởng của động cơ diesel đến ô nhiễm môi trường luôn là một trong những nhiệm vụ quan trọng hàng đầu trong thiết kế đóng mới, sửa chữa và khai thác tàu thủy. Từ kết quả nghiên cứu thu nhận được trong một số trường hợp trên phần mềm COMPLEX có thể đưa ra khả năng hạn chế ảnh hưởng tới ô nhiễm môi trường của động cơ diesel

Researching influences on the ambient emissions from diesel engine is always the most important duty in new building design, repairing and exploiting. From researched results which revealed on the COMPLEX computer can be find out abilities to limit influences on the ambient emissions of diesel engine.

Đặt vấn đề

Nghiên cứu về ảnh hưởng của động cơ diesel đối với ô nhiễm môi trường khí quyển đã được nhiều tác giả trong và ngoài nước nghiên cứu, nhưng các nghiên cứu chủ yếu mới tập trung vào các giải pháp nhằm giảm thiểu ô nhiễm khi thiết kế động cơ, còn những ảnh hưởng khi các điều kiện khai thác động cơ thay đổi đến ô nhiễm môi trường thì rất ít và chưa được nghiên cứu nhiều.

Để có cơ sở tìm kiếm các giải pháp kỹ thuật khả dĩ nhằm hạn chế NO_x ngay trong quá trình cháy cần phải tìm hiểu cơ chế hình thành của NO_x , cơ sở lý thuyết tính toán nồng độ NO_x và các nhân tố ảnh hưởng đến sự hình thành các chất ô nhiễm trong quá trình cháy của động cơ diesel.

Phương pháp nghiên cứu là dựa trên lý thuyết và tính toán nồng độ khí NO_x trong khí xả của động cơ nhờ chương trình tính của Nhật Bản tài trợ cho Đại học Hàng hải Việt Nam khi thay đổi một số thông số của động cơ diesel.

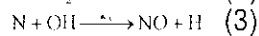
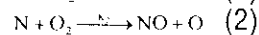
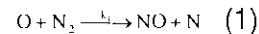
Sự hình thành NO_x

Monoxit Nitơ (NO), dioxit Nitơ (NO_2) và protoxit Nitơ (N_2O) thường được gọi là NO_x , trong đó NO chiếm đa số.

Sự hình thành NO

NO được hình thành do oxy hóa Nitơ trong không khí ở nhiệt độ tương đối cao trong điều kiện hệ số dư lượng

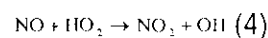
không khí xấp xỉ bằng 1; tốc độ hình thành phụ thuộc vào nhiệt độ, được mô tả bằng cơ chế của Zeldovich



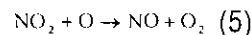
Phản ứng (3) chủ yếu xảy ra trong vùng giàu nhiên liệu.

Sự hình thành NO_2

Đối với động cơ diesel do quá trình cháy khuếch tán nên có đến 30% NO_x dưới dạng NO_2 . NO_2 được hình thành từ NO và chất trung gian của sản phẩm cháy HO_2 theo các phản ứng sau:



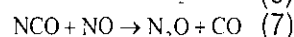
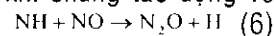
Trong điều kiện nhiệt độ cao, NO_2 tạo thành có thể phân giải thành NO theo phản ứng:



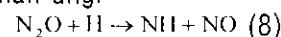
Trường hợp NO_2 sinh ra trong ngọn lửa bị làm mát ngay bởi môi chất có nhiệt độ thấp thì phản ứng (5) bị khống chế, nghĩa là lượng NO_2 tạo ra được duy trì trong sản phẩm cháy. Khi động cơ diesel làm việc ở chế độ tải thấp thì trong buồng cháy tồn tại nhiều vùng lạnh có khả năng ngăn chặn phản ứng ngược (5). NO_2 cũng hình thành trên đường xả khi tốc độ thải thấp và có sự hiện diện của oxy.

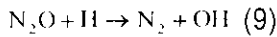
Sự hình thành N_2O

N_2O chủ yếu hình thành từ các chất trung gian của NH và NCO khi chúng tác động với NO.



Cơ chế hình thành bị giới hạn ở vùng oxy hóa. Ở đó nồng độ nguyên tử H cao, tạo ra sự phân giải mạnh mẽ N_2O theo phản ứng:





Bởi vậy, trong sản phẩm cháy của động cơ diesel, tỷ lệ N_2O rất thấp.

Phân tích các yếu tố ảnh hưởng tới sự hình thành NO_x

Hồi lưu khí xả (EGR)

Khi trong hỗn hợp cháy tồn tại khí còn sót lại của chu trình trước sẽ làm giảm tỷ lệ khí nạp mới, do đó làm giảm nhiệt độ cháy. Nguyên nhân làm giảm nhiệt độ cháy khi hòa lẫn khí sót vào hỗn hợp là sự gia tăng nhiệt dung của môi chất trong xilanh. Vì vậy, hệ số khí sót càng cao thì NO_x càng giảm.

Góc phun sớm nhiên liệu

Tăng góc phun sớm làm cho thời điểm bắt đầu quá trình cháy xuất hiện sớm hơn, do đó làm tăng giá trị áp suất cháy cực đại và thời gian sản phẩm cháy tồn tại ở nhiệt độ cao tăng lên. Cả hai điều này, làm cho nồng độ NO_x tăng khi tăng góc phun sớm; khi giảm góc phun sớm thì làm giảm nồng độ NO_x .

Thời gian cung cấp nhiên liệu

Giảm thời gian cung cấp nhiên liệu có thể làm giảm lượng mỡ hóng nhưng lại làm tăng NO_x . Để tránh nhược điểm này, các nhà chế tạo động cơ đã nghiên cứu ứng dụng một hệ thống khống chế nhiên liệu tác động ở chế độ tải thấp và ngưng tác động khi lượng phun nhiên liệu vượt quá một giới hạn nào đó khi tăng tải.

Biên dạng cam nhiên liệu

Khi thay đổi biên dạng cam thì quy luật cung cấp nhiên liệu theo góc quay trục khuỷu sẽ thay đổi. Do quy luật cung cấp nhiên liệu thay đổi sẽ kéo theo tính chất quá trình cháy thay đổi, các thông số của quá trình cháy và hàm lượng NO_x trong khí xả cũng sẽ thay đổi. Để lựa chọn biên dạng cam đúng, bên cạnh hàm lượng NO_x trong khí xả thì một số chỉ tiêu kinh tế-kỹ thuật cũng được lựa chọn để có thể thỏa mãn bài toán tối ưu đa mục tiêu trong chế tạo động cơ diesel.

Vận động xoáy lốc của khí nạp

Nếu xét cùng áp suất không khí nạp vào xilanh thì mức độ xoáy lốc phụ thuộc vào hình dáng đỉnh piston, cơ cấu nạp xả, vòng quay động cơ, tốc độ dòng khí nạp, khối lượng không khí nạp, nhiệt độ và đường kính xilanh...

Khi tăng mức độ xoáy lốc thì sự hòa trộn không khí với nhiên liệu tốt ngay từ lúc bắt đầu giai đoạn bén lửa, nên làm giảm mức độ phát sinh ra mỡ hóng trong xilanh, nhưng lúc này áp suất cháy cực đại tăng do đó làm tăng mức độ phát sinh NO_x .

Để giảm NO_x cần phải giới hạn tốc độ hòa trộn nhiên liệu với không khí bằng cách giảm vận động rối của không khí trong buồng cháy hay giảm tốc độ phun nhiên liệu.

Góc đóng mở các xu páp

Khi cam hoặc các cơ cấu truyền động bị mòn hoặc hiệu chỉnh sai lệch khe hở nhiệt của xu páp, khi đó chất lượng quá trình tạo hỗn hợp thay đổi, dẫn tới chất lượng quá trình cháy thay đổi và hàm lượng NO_x trong khí xả cũng sẽ thay đổi.

Phụ tải và vòng quay động cơ

Khi thay đổi phụ tải hoặc vòng quay sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến các thông số đầu vào của quá trình cháy, như: lượng nhiên liệu cung cấp cho một chu trình, hệ số dư lượng không khí, nhiệt độ và áp suất cuối quá trình nén.

Trong quá trình gia tốc động cơ hoặc khi tăng tải thì hệ số dư lượng không khí α giảm, phản ứng cháy không hoàn toàn làm cho HC cháy không hết tạo muội.

Nồng độ NO_x tăng theo áp suất cực đại của quá trình cháy, nghĩa là tăng theo tải của động cơ.

Tính chất nhiên liệu

Khi sử dụng loại nhiên liệu có chỉ số xêtan thấp sẽ làm tăng thời gian cháy trễ, khi đó nồng độ NO_x sẽ tăng. Do đó sử dụng nhiên liệu có số xêtan cao là giải pháp làm giảm nồng độ NO_x trong khí thải.

Nhiệt độ không khí nạp

Giảm nhiệt độ không khí nạp sẽ làm giảm nhiệt độ cháy cực đại của quá trình cháy, vì thế giảm được nồng độ NO_x . Giải pháp sấy nóng không khí khi khởi động ở trạng thái nguội nhằm làm giảm sự phát sinh HC và khói trắng nhưng lại làm tăng NO_x .

Áp suất không khí nạp

Khi áp suất không khí nạp tăng thì làm cho sự hình thành CO và bồ hóng giảm, nhưng lại làm tăng nồng độ NO_x . Khắc phục bằng cách kết hợp tăng áp với hệ thống hồi lưu khí xả EGR được điều khiển bằng thiết bị điện tử.

Nhiệt độ khí xả

Ổng xả chế tạo bằng chất liệu là gốm thì nhiệt độ khí xả ra khỏi động cơ có thể cao, điều này cho phép tăng khả năng oxy hóa bồ hóng và HC nhưng lại làm tăng nồng độ NO_x .

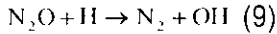
Kết quả tính toán nồng độ NO_x

Động cơ diesel được sử dụng để nghiên cứu

Thông số cơ bản của một số động cơ được sử dụng để nghiên cứu ghi trong Bảng 1. Thời điểm phun nhiên liệu thay đổi theo tải của động cơ IEM84TF trong Bảng 2.

Bảng 1-Thông số cơ bản của một số động cơ

Tên động cơ	IEM20FC	IEM84TF
Số kỳ	4	2
Đường kính xilanh (mm)	200	840
Hành trình piston (mm)	260	2900
Vòng quay định mức (v/ph)	900	64,6
Công suất định mức (kW/xi lanh)	98,07	2861
Xu páp (cửa) nạp mở sau ĐCT	293°	140,9°
đóng sau ĐCT	-133°	-140,9°
Xu páp (cửa) xả mở sau ĐCT	113°	120°
đóng sau ĐCT	-313°	-107°
Thời điểm phun nhiên liệu sau ĐCT	-18°	thay đổi theo tải
Phụ tải	lai máy phát điện	lai chân vịt định bước



Bởi vậy, trong sản phẩm cháy của động cơ diesel, tỷ lệ N_2O rất thấp.

Phân tích các yếu tố ảnh hưởng tới sự hình thành NO_x

Hồi lưu khí xả (EGR)

Khi trong hỗn hợp cháy tồn tại khí còn sót lại của chu trình trước sẽ làm giảm tỷ lệ khí nạp mới, do đó làm giảm nhiệt độ cháy. Nguyên nhân làm giảm nhiệt độ cháy khi hòa lẫn khí sót vào hỗn hợp là sự gia tăng nhiệt dung của môi chất trong xilanh. Vì vậy, hệ số khí sót càng cao thì NO_x càng giảm.

Góc phun sớm nhiên liệu

Tăng góc phun sớm làm cho thời điểm bắt đầu quá trình cháy xuất hiện sớm hơn, do đó làm tăng giá trị áp suất cháy cực đại và thời gian sản phẩm cháy tồn tại ở nhiệt độ cao tăng lên. Cả hai điều này, làm cho nồng độ NO_x tăng khi tăng góc phun sớm; khi giảm góc phun sớm thì làm giảm nồng độ NO_x .

Thời gian cung cấp nhiên liệu

Giảm thời gian cung cấp nhiên liệu có thể làm giảm lượng mỡ hóng nhưng lại làm tăng NO_x . Để tránh nhược điểm này, các nhà chế tạo động cơ đã nghiên cứu ứng dụng một hệ thống khống chế nhiên liệu tác động ở chế độ tải thấp và ngưng tác động khi lượng phun nhiên liệu vượt quá một giới hạn nào đó khi tăng tải.

Biên dạng cam nhiên liệu

Khi thay đổi biên dạng cam thì quy luật cung cấp nhiên liệu theo góc quay trục khuỷu sẽ thay đổi. Do quy luật cung cấp nhiên liệu thay đổi sẽ kéo theo tính chất quá trình cháy thay đổi, các thông số của quá trình cháy và hàm lượng NO_x trong khí xả cũng sẽ thay đổi. Để lựa chọn biên dạng cam đúng, bên cạnh hàm lượng NO_x trong khí xả thì một số chỉ tiêu kinh tế-kỹ thuật cũng được lựa chọn để có thể thỏa mãn bài toán tối ưu đa mục tiêu trong chế tạo động cơ diesel.

Vận động xoáy lốc của khí nạp

Nếu xét cùng áp suất không khí nạp vào xilanh thì mức độ xoáy lốc phụ thuộc vào hình dáng đỉnh piston, cơ cấu nạp xả, vòng quay động cơ, tốc độ dòng khí nạp, khối lượng không khí nạp, nhiệt độ và đường kính xilanh...

Khi tăng mức độ xoáy lốc thì sự hòa trộn không khí với nhiên liệu tốt ngay từ lúc bắt đầu giai đoạn bén lửa, nên làm giảm mức độ phát sinh ra mỡ hóng trong xilanh, nhưng lúc này áp suất cháy cực đại tăng do đó làm tăng mức độ phát sinh NO_x .

Để giảm NO_x cần phải giới hạn tốc độ hòa trộn nhiên liệu với không khí bằng cách giảm vận động rối của không khí trong buồng cháy hay giảm tốc độ phun nhiên liệu.

Góc đóng mở các xu páp

Khi cam hoặc các cơ cấu truyền động bị mòn hoặc hiệu chỉnh sai lệch khe hở nhiệt của xu páp, khi đó chất lượng quá trình tạo hỗn hợp thay đổi, dẫn tới chất lượng quá trình cháy thay đổi và hàm lượng NO_x trong khí xả cũng sẽ thay đổi.

Phụ tải và vòng quay động cơ

Khi thay đổi phụ tải hoặc vòng quay sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến các thông số đầu vào của quá trình cháy, như: lượng nhiên liệu cung cấp cho một chu trình, hệ số dư lượng không khí, nhiệt độ và áp suất cuối quá trình nén.

Trong quá trình gia tốc động cơ hoặc khi tăng tải thì hệ số dư lượng không khí α giảm, phản ứng cháy không hoàn toàn làm cho HC cháy không hết tạo muội.

Nồng độ NO_x tăng theo áp suất cực đại của quá trình cháy, nghĩa là tăng theo tải của động cơ.

Tính chất nhiên liệu

Khi sử dụng loại nhiên liệu có chỉ số xêtan thấp sẽ làm tăng thời gian cháy trễ, khi đó nồng độ NO_x sẽ tăng. Do đó sử dụng nhiên liệu có số xêtan cao là giải pháp làm giảm nồng độ NO_x trong khí thải.

Nhiệt độ không khí nạp

Giảm nhiệt độ không khí nạp sẽ làm giảm nhiệt độ cháy cực đại của quá trình cháy, vì thế giảm được nồng độ NO_x . Giải pháp sấy nóng không khí khi khởi động ở trạng thái nguội nhằm làm giảm sự phát sinh HC và khói trắng nhưng lại làm tăng NO_x .

Áp suất không khí nạp

Khi áp suất không khí nạp tăng thì làm cho sự hình thành CO và bồ hóng giảm, nhưng lại làm tăng nồng độ NO_x . Khắc phục bằng cách kết hợp tăng áp với hệ thống hồi lưu khí xả EGR được điều khiển bằng thiết bị điện tử.

Nhiệt độ khí xả

Ống xả chế tạo bằng chất liệu là gốm thì nhiệt độ khí xả ra khỏi động cơ có thể cao, điều này cho phép tăng khả năng ôxy hóa bồ hóng và HC nhưng lại làm tăng nồng độ NO_x .

Kết quả tính toán nồng độ NO_x

Động cơ diesel được sử dụng để nghiên cứu

Thông số cơ bản của một số động cơ được sử dụng để nghiên cứu ghi trong Bảng 1. Thời điểm phun nhiên liệu thay đổi theo tải của động cơ IEM84TF trong Bảng 2.

Bảng 1-Thông số cơ bản của một số động cơ

Tên động cơ	IEM20FC	IEM84TF
Số kỳ	4	2
Đường kính xilanh (mm)	200	840
Hành trình piston (mm)	260	2900
Vòng quay định mức (v/ph)	900	64,6
Công suất định mức (kW/xi lanh)	98,07	2861
Xu páp (cửa) nạp mở sau ĐCT	293°	140,9°
đóng sau ĐCT	-133°	-140,9°
Xu páp (cửa) xả mở sau ĐCT	113°	120°
đóng sau ĐCT	-313°	-107°
Thời điểm phun nhiên liệu sau ĐCT	-18°	thay đổi theo tải
Phụ tải	lai máy phát điện	lai chân vịt định bước

Bảng 2-Thời điểm phun theo tải của động cơ IEM84TF

Tải (%)	25	50	100	110
Thời điểm phun (°TK sau ĐCT)	4	4	3	4
Thời gian phun (độ)	9	11	16	16

Kết quả tính toán

Dựa vào phần mềm COMPLEX, tính toán các thông số: g_e [g/kW.h], P_{max} [Mpa], O_2 [%], CO [%] và NO_x [g/kW.h].

Thay đổi phụ tải

Kết quả tính toán ở các phụ tải khác nhau của động cơ IEM20FC ghi trong Bảng 3.

Bảng 3-Kết quả tính toán ở các tải khác nhau

Tải [%]	25	50	100	110
n [v/ph]	900	900	900	900
g_e [g/kW.h]	278	211	202	202
P_{max} [Mpa]	5,5	8,1	12,0	12,6
O_2 [%]	13,46	11,6	10,2	9,8
CO [%]	0,84	1,14	1,15	1,17
NO_x [g/kW.h]	0,76	4,61	5,16	4,86

Nhận xét: Khi tăng phụ tải cho động cơ thì hàm lượng khí NO_x tăng.

Thay đổi quy luật cung cấp nhiên liệu

Khảo sát động cơ IEM84TF, mức tải 100%.

Trường hợp Q10: biên dạng cam nhiên liệu nguyên bản;

Trường hợp Q11: biên dạng cam nhiên liệu thay đổi theo kiểu dốc hơn;

Trường hợp Q12: biên dạng cam nhiên liệu thay đổi theo kiểu đối xứng;

Trường hợp Q13: biên dạng cam nhiên liệu thay đổi theo kiểu thoải hơn.

Kết quả tính toán ghi trong Bảng 4.

Bảng 4-Kết quả tính toán khi thay đổi quy luật cung

Thông số khảo sát	Q10	Q11	Q12	Q13
P_{max} [kG/cm ²]	128,2	137,3	124,1	129,2
T_{kx} [°C]	504,2	498,8	509,5	506,8
N_e [kW]	28552	2907	2823	2866
g_e [g/ml.h]	129,4	126,9	130,7	128,8
O_2 [%]	14,14	14,15	14,15	14,16
NO_x [ppm]	2293	2375	2190	2289

cấp nhiên liệu

Nhận xét: Khi biên dạng cam thay đổi theo chiều

hướng thoải hơn thì nồng độ NO_x giảm, nhưng công suất động cơ hơi giảm và suất tiêu hao nhiên liệu tăng, nhiệt độ khí xả tăng, tỷ lệ phần trăm O_2 tăng. Vì vậy khi thay đổi biên dạng cam phải chọn sao cho giảm nồng độ NO_x nhưng phải đảm bảo công suất động cơ.

Thay đổi góc phun sớm nhiên liệu

Khảo sát động cơ IEM20FC, mức tải 100%. Góc phun sớm nhiên liệu của động cơ được thay đổi và kết quả tính trong Bảng 5.

Bảng 5-Kết quả tính toán khi thay đổi góc phun sớm

Thông số khảo sát	$\varphi_{1s} = 21^\circ$	$\varphi_{1s} = 18^\circ$	$\varphi_{1s} = 16^\circ$
P_{max} [kG/cm ²]	132,25	119,8	112,6
T_{kx} [°C]	467,8	470,7	472,1
N_e [kW]	102,2	100,5	99,1
g_e [g/ml.h]	146,6	149,3	151,4
O_2 [%]	10,39	10,19	10,16
NO_x [ppm]	665	490,3	419,5

Nhận xét: Khi tăng góc phun sớm, hàm lượng NO_x sinh ra sẽ lớn hơn. Ngược lại, khi giảm góc phun sớm mà không giảm lượng nhiên liệu cấp cho chu trình thì hàm lượng NO_x giảm, nhiệt độ khí xả tăng, hiệu suất nhiệt giảm, giảm công suất khai thác của động cơ.

Cam phân phối khí bị mòn

Động cơ IEM20FC, mức tải 70%. Trường hợp XP0: chuẩn ban đầu; XP1: cam mòn cấp 1; XP2: cam mòn cấp 2.

Mỗi cấp độ mòn lấy $\Delta\varphi = 5^\circ, \Delta\beta = 2^\circ$;

Với φ - góc mở sớm, đóng muộn của xu páp;

β_h, β_x - góc tính từ khi bắt đầu mở đến khi kết thúc mở và góc tính từ khi bắt đầu đóng đến khi kết thúc đóng của xu páp hút hoặc xả.

Các giá trị $\varphi, \beta_h, \beta_x$ cho trong Bảng 6; kết quả tính toán trong Bảng 7.

Bảng 6-Các trường hợp nghiên cứu khi thay đổi góc

Trường hợp Góc đóng mở	XP0	XP1	XP2
φ_{hms} (TĐCT)	293°	298°	303°
φ_{hdm} (SĐCD)	133°	138°	143°
φ_{xms} (TĐCD)	113°	118°	123°
φ_{xdm} (SĐCT)	313°	318°	323°
β_h	30°	28°	26°
β_x	30°	28°	26°

đóng mở xu páp

Bảng 7-Kết quả tính toán khi thay đổi góc đóng mở xu páp

Thông số	XP0	XP1	XP2
P_{max} [kG/cm ²]	94,7	98,6	101,8
T_{kx} [°C]	437	423,9	409
N_e [kW]	68,3	69,9	71
g_e [g/ml.h]	155	151,5	149,2
O_2 [%]	11,16	11,57	11,91
NO_x [ppm]	452,3	489,5	516,8

Nhận xét: Khi cam bị mài mòn thì hàm lượng NO_x tăng lên nhiều.

Thay đổi áp suất, nhiệt độ khí tăng áp

Khảo sát động cơ IEM84TF, mức tải 75%. Giả định áp suất giảm theo các mức độ khác nhau với bước là 0,0088 Mpa và nhiệt độ tăng là 5°C (Bảng 8); kết quả tính toán trong Bảng 9.

Bảng 8-Các trường hợp nghiên cứu khi thay đổi thông số tăng áp

Trường hợp Thông số	TA0	TA1	TA2
	P_s [Mpa]	0.164	0.155
T_s [°C]	40	45	50
Thông số	TA0	TA1	TA2

Bảng 9-Kết quả tính toán khi thay đổi thông số tăng áp

Thông số	TA0	TA1	TA2
P_{max} [kG/cm ²]	120,5	121,6	122,7
T_{kx} [°C]	472,8	559,4	609,1
N_e [kW]	2143	2140	2114
G_e [g/ml.h]	127,3	127,5	129,4
O_2 [%]	14,43	12,38	10,07
NO_x [ppm]	2433	3389	3510

Nhận xét: Khi thay đổi thông số tăng áp, hàm lượng NO_x thay đổi rất mạnh.

Kết luận

1. Trong quá trình khai thác động cơ diesel nhất thiết phải kiểm tra trạng thái kỹ thuật và hiệu chỉnh động cơ định kỳ để chất lượng làm việc của động cơ được tốt hơn, nhằm giảm thiểu ô nhiễm môi trường nhưng lại tăng được công suất và hiệu suất của động

cơ.

2. Cần tiếp tục nghiên cứu bằng thực nghiệm trên một số động cơ diesel để hoàn thiện thêm kết quả.

3. Trong tương lai, việc khai thác động cơ cũ có thể bị ngăn cấm bởi các quy định về phòng chống ô nhiễm môi trường của các tổ chức quốc tế

Tài liệu tham khảo:

[1]. ĐOÀN VĂN THÀNH (2005), "Nghiên cứu tính toán nồng độ NO trong khí thải động cơ diesel tàu thủy", Luận văn thạc sỹ kỹ thuật, trường Đại học Hàng hải Việt Nam.

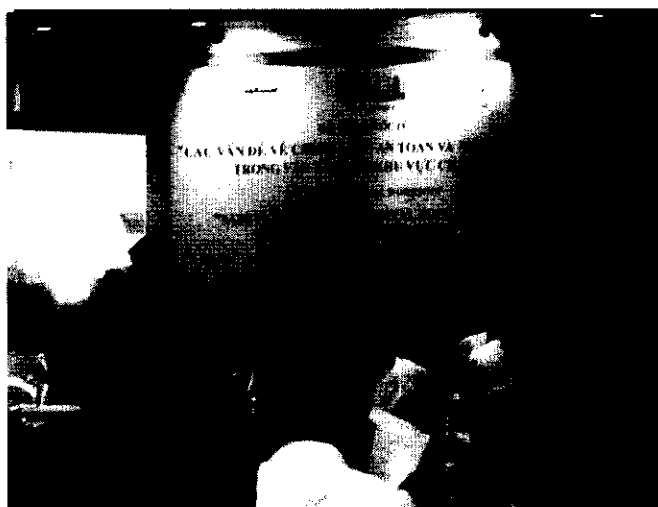
[2]. LÊ VIẾT LƯỢNG (1997), "Các chế độ chuyển tiếp của động cơ đốt trong"- Đại học HHVN.

[3]. Tài liệu, "Engine data IEM20FC", IEM Co., Ltd.

[4]. Tài liệu, "Engine data IEM84TF", IEM Co., Ltd.

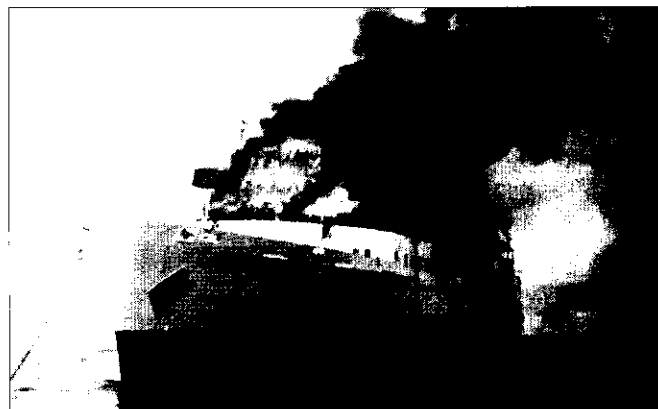
[5]. TOLSIN V.I. IAKUNTRIKOV V.N (1998), "Phương pháp tính các thông số công tác và độc tố khí xả động cơ diesel tàu thủy"-Nhà xuất bản giao thông, M.

[6]. TOLSIN V.I. KOVALEVCKI E.C (1977), "Các quá trình chuyển tiếp của động cơ diesel lai máy phát điện"-Nhà xuất bản giao thông, M.



Hội thảo quốc tế "Các vấn đề về chính sách an toàn và môi trường trong vận tải biển khu vực châu Á" tổ chức tại TP. Hồ Chí Minh

Ảnh: Lan Hương



Các vụ tai nạn hàng hải làm ô nhiễm môi trường biển