

Đánh giá ảnh hưởng của hệ số tổn thất khí động qua xu-páp nạp, thải đến các thông số vận hành của động cơ Hyundai 2.5TCI-A

- **ThS. TRẦN TRỌNG TUẤN** - Trường Đại học Công nghệ Giao thông và ôtô
- **ThS. KHÔNG VĂN NGUYÊN; TS. TRẦN ANH TRUNG** - Trường Đại học Bách khoa Hà Nội
- **PGS. TS. NGUYỄN HOÀNG VŨ** - Học viện Kỹ thuật Quân sự

TÓM TẮT: Hiện nay, việc tính toán chu trình công tác (CTCT) của động cơ đốt trong thường sử dụng các phần mềm mô phỏng (PMMP) chuyên dụng như Diesel RK, GT - Power, AVL - Boost. Để đảm bảo độ chính xác của mô hình mô phỏng, cần xác định đầy đủ các thông số đầu vào và điều kiện biên. Hệ số tổn thất khí động qua các xu-páp nạp - thải là một trong những thông số đầu vào quan trọng, ảnh hưởng trực tiếp đến kết quả mô phỏng CTCT. Hệ số tổn thất này thường được xác định bằng hai cách: Lấy theo mặc định của PMMP hoặc xác định bằng thực nghiệm. Bài báo trình bày các kết quả thực nghiệm xác định hệ số tổn thất nạp - thải và đánh giá ảnh hưởng của hệ số tổn thất đến các thông số vận hành của động cơ diesel Hyundai 2.5TCI-A.

TỪ KHÓA: Tổn thất khí động, chu trình công tác, 2.5TCI-A, mô hình mô phỏng.

ABSTRACT: Nowadays, the calculation of work cycle (CTCT) of internal combustion engines usually use specialized simulation software such as RK, GT - Power, AVL - Boost. To ensure accuracy of the simulation model, it is necessary to fully determine the input parameters and boundary conditions. The flow coefficients of intake and exhaust valve is one of the important input parameters that directly affect the results of the simulation. The flow coefficient of intake and exhaust valve is usually determined in two ways: Use default parameter in software or determination by experient. This article presents the results of experiment research on the determination of the flow coefficients of intake and exhaust valve and the impact factor of the 2.5TCI-A diesel engine performance index

KEYWORDS: Flow coefficients, calculation of work cycle, 2.5TCI-A, model simulation

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

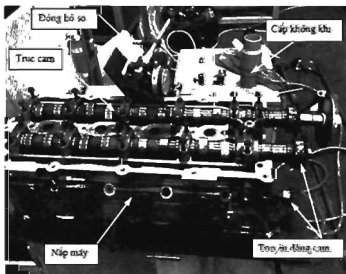
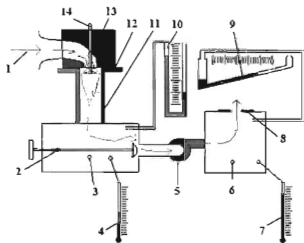
Hiệu suất của quá trình nạp, thải ảnh hưởng lớn đến quá trình hình thành hỗn hợp và cháy thông qua đó ảnh hưởng trực tiếp đến các thông số vận hành, chỉ tiêu kinh tế, môi trường của động cơ. Để đánh giá tổn thất về mặt khí động trên đường nạp - thải người ta đưa ra hệ số tổn thất khí động của dòng môi chất đi qua các hệ thống trên. Có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến hệ số tổn thất nạp - thải, trong đó kết cấu xu-páp và đường ống nạp - thải trên nắp xi-lanh là yếu tố có tác động lớn nhất. Khi tính toán CTCT của động cơ bằng PMMP người dùng có thể sử dụng hệ số tổn thất khí động qua xu-páp theo mặc định của phần mềm, việc này sẽ làm giảm thời gian mô phỏng mà vẫn đạt được độ tin cậy, độ chính xác nhất định. Tuy nhiên, ở những động cơ thế hệ mới, các thông số điều khiển được ECU kiểm soát chặt chẽ, do đó khi có sự thay đổi về lưu lượng khí nạp - thải sẽ dẫn đến sự thay đổi về lượng nhiên liệu phun (do ECU điều khiển) và kéo theo các thông số vận hành của động cơ.

Bê thử đo tổn thất khí động được sử dụng nhiều trong các nghiên cứu nâng cao hiệu suất của động cơ đốt trong bằng phương pháp hoàn thiện kết cấu các đường nạp - thải. Bê thử tổn thất có khả năng đo các thông số khí động như: Vận tốc dòng khí, hệ số tổn thất, mức độ cháy rối, mức độ chênh lệch áp suất... [14] của không khí khi đi qua các thiết bị như: Kết làm mát khí nạp, cửa nạp - thải, bộ lọc gió, bướm gió, bộ xử lý khí thải...

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm xác định hệ số tổn thất khí động qua xu-páp nạp - thải của động cơ diesel kiểu Common Rail Hyundai 2.5 TCI-A. Kết quả thử nghiệm là thông số đầu vào cho việc mô hình mô phỏng CTCT của động cơ trên phần mềm AVL-Boost.

2. TRANG THIẾT BỊ THỰC NGHIỆM

Quá trình thử nghiệm đo hệ số tổn thất khí động được thực hiện tại Phòng Thử nghiệm Động cơ đốt trong - Viện Cơ khí Động lực - Trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Sơ đồ nguyên lý và hình ảnh thực tế các trang thiết bị được trình bày trên Hình 2.1 [14].



1 - Hướng dòng khí vào; 2 - Thanh điều chỉnh; 3 - Buồng kín; 4, 7 - Nhiệt kế; 5 - Bơm khí; 6 - Buồng đo; 8 - Tấm tiết lưu; 9 - Áp kế kiểu nghiêng; 10 - Áp kế chữ U; 11 - Xi-lanh giá; 12 - Bề đồ thiết bị đo; 13 - Nắp máy; 14 - Xu-páp.

Hình 2.1: Sơ đồ nguyên lý (a) và hình ảnh thiết bị đo tổn thất khí động qua xu-páp (b)

Lưu lượng khí qua xu-páp nạp - thải được xác định như sau: Nắp máy với đầy đủ cơ cấu phối khí được gắn cố định trên bệ của thiết bị đo (Hình 2.1). Thiết bị cấp không khí sẽ đẩy không khí từ ngoài môi trường vào buồng thử thông qua cửa số 1 hoặc ngược lại (tùy thuộc vào việc thử cho xu-páp nạp hay thải); lưu lượng khí qua xu-páp được tạo ra và duy trì ổn định nhờ bơm khí số (5), bơm này được thiết kế để có thể đảo chiều dòng khí tùy thuộc vào việc thử cho xu-páp nạp hay thải (khí thử cho xu-páp nạp bơm sẽ hút vào, khí thử cho xu-páp thải bơm sẽ đẩy ra). Trong quá trình đo phải điều chỉnh tấm tiết lưu (8) và thanh điều chỉnh số (2) để đảm bảo độ chênh áp trước và sau xu-páp luôn là hằng số (254 mmH₂O) [14]. Hệ số tổn thất lưu lượng qua xu-páp được xác định theo công thức [14]:

$$C_f = \frac{4V_{\text{th}}}{\pi \cdot n \cdot D^3 \cdot \pi \cdot 10^{-6}} \quad (1)$$

Trong đó: V_{th} - Lưu lượng thể tích của không khí vào/ra bệ thử [m³/s];

v - Vận tốc dòng không khí vào/ra hệ thống [m/s];

D - Đường kính đế xu-páp nạp/thải [mm];

n - Số xu-páp nạp/thải trên 1 xi-lanh [chiếc].

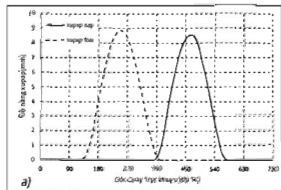
Công thức (1) được sử dụng để xác định cho cả xu-páp và thải, vì vậy các đại lượng có chữ "vào" được sử

dụng để mô tả dòng khí đi vào khi thử xu-páp nạp, đại lượng có chữ "ra" được sử dụng để mô tả dòng khí đi ra khi thử xu-páp thải.

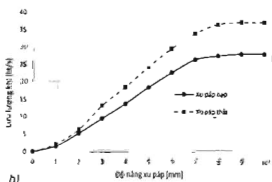
Trong quá trình thử nghiệm độ nâng của xu-páp nạp - thải được xác định bằng đồng hồ sơ gắn trên nắp máy (Hình 2.1b). Cơ cấu truyền động xích được sử dụng nhằm dẫn động trục cam. Góc quay của trục cam tương ứng với từng giá trị độ nâng của xu-páp trên đồng hồ sơ được xác định bằng đồng hồ đo góc (với đĩa chia độ gắn cố định lên nắp máy và kim hiển thị góc được gắn trên đầu trục cam).

3. KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

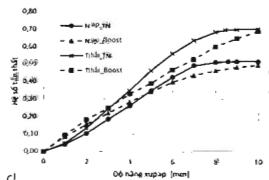
Kết quả xác định diễn biến độ nâng xu-páp nạp - thải, lưu lượng và hệ số tổn thất trên đường nạp - thải của động cơ 2.5TC1-A được thể hiện trên Hình 3.1 và Bảng 3.1. Trong đó, hệ số tổn thất xác định bằng thực nghiệm được ký hiệu "TN" hệ số tổn thất xác định dựa trên mặc định của phần mềm Boost được ký hiệu "mặc định", ta thấy:



a)



b)



c)

a) - Diễn biến độ nâng xu-páp
b) - Lưu lượng qua xu-páp
c) - Hệ số tổn thất khí động

a - Diễn biến độ nâng xu-páp; b - Hệ số tổn thất nạp/thải

Hình 3.1: Kết quả diễn biến độ nâng xu-páp và hệ số tổn thất trên đường nạp - thải

Bảng 3.1. Kết quả xác định các thông số của xu-páp nạp/thải

STT	Tên thông số	Đơn vị	Giá trị
1	Góc mở sớm/dóng muộn xu-páp nạp	GQTK	8/38
2	Góc mở sớm/dóng muộn xu-páp thải	GQTK	52/8
3	Tổng góc mở của xu-páp thải	GQTK	240
4	Đường kính đế xu-páp nạp	mm	27.3
5	Đường kính đế xu-páp thải	mm	23.7

Lưu lượng lớn nhất qua xu-páp nạp - thải của động cơ diesel 2.5TCI-A lần lượt là 28.17 và 37.21 l/s. Độ nâng lớn nhất của xu-páp nạp - thải lần lượt là 8.37 và 8.88. Hệ số tổn thất lưu lượng lớn nhất của xu-páp nạp - thải lần lượt là 0.518 và 0.701. Hình dạng đường diện biến tổn thất khí động trên đường nạp - thải khi thử nghiệm trên bộ thử tổn thất khí dòng đồng dạng với đường mặc định được khuyến cáo trong AVL - Boost. Hệ số tổn thất qua xu-páp giữa thử nghiệm và mặc định khi độ nâng xu-páp ở mức nhỏ hoặc xu-páp mở gần như hoàn toàn có sự sai khác nhau không nhiều. Tuy nhiên, khi xu-páp mở ở mức trung bình (từ 4 ÷ 8mm) thì mức độ sai khác này lại có xu hướng tăng mạnh và đạt giá trị lớn nhất tại độ mở 7mm lần lượt là 20.37% đối với xu-páp nạp và 12.86% đối với xu-páp thải. Điều này có thể được giải thích khi xu-páp mở nhỏ hoặc mở gần như hoàn toàn thì ảnh hưởng của hệ số tiết lưu qua khe khe hẹp lưu lượng của dòng khí là không nhiều, đồng thời dòng chảy ổn định hơn, tuy nhiên tại những vị trí mở trung bình hệ số tiết lưu này ảnh hưởng lớn đến hệ số tổn thất và mức độ chảy rối của dòng khí, điều này làm ảnh hưởng trực tiếp đến hệ số tổn thất.

4. ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA HỆ SỐ TỔN THẤT KHÍ ĐỘNG TRÊN ĐƯỜNG NẠP - THẢI ĐẾN CÁC THÔNG SỐ CÔNG TÁC CỦA ĐỘNG CƠ 2.5TCI-A

4.1. Cơ sở tính toán quá trình trao đổi chất qua cửa nạp - thải trong phần mềm AVL-Boost

Tốc độ dòng khí tại cửa nạp và thải được tính theo công thức viết cho dòng chảy đẳng entropy có kể đến hệ số cản dòng được quyết định bởi đường kính họng. Từ phương trình bảo toàn năng lượng viết cho dòng ổn định tại miệng hút ta có phương trình xác định tốc độ dòng khí nạp, thải [14]:

$$\frac{dM}{dt} = A_{cT} \cdot p_{01} \sqrt{\frac{2}{R_{01} T_{01}}} \cdot \Psi \tag{2}$$

Trong đó: $\frac{dM}{dt}$ - Tốc độ dòng khí; A_{cT} - Diện tích tiết diện lưu thông; p_{01} - Áp suất trước miệng hút; T_{01} - Nhiệt độ trước miệng hút; R_0 - Hằng số chất khí; γ - Hệ số lưu lượng.

$$\Psi = \sqrt{\frac{k}{k-1} \left[\left(\frac{p_2}{p_{01}} \right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{p_2}{p_{01}} \right)^{\frac{k+1}{\gamma}} \right]} \tag{3}$$

Diện tích lưu thông có thể được xác định thông qua công thức sau:

$$A_{cT} = \mu_g \frac{d_v^2 \pi}{4} \tag{4}$$

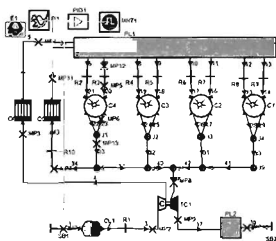
Trong đó: μ_g - Hệ số tổn thất tại cửa nạp và thải; d_v - Đường kính trong đế xu-páp.

Qua các công thức (2) và (3) có thể thấy hệ số tổn thất tại cửa nạp và thải (μ_g) ảnh hưởng trực tiếp đến tốc

độ dòng khí nạp và thải đi trên đường ống. Hệ số μ_g phụ thuộc vào độ nâng xu-páp và được xác định trên một trạng thái ổn định của dòng công chất.

4.2. Kết quả đánh giá ảnh hưởng của hệ số tổn thất khí động trên đường nạp/thải đến các thông số công tác của động cơ

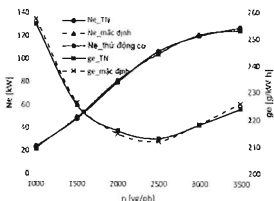
Mô hình mô phỏng CTCT của động cơ 2.5 TCI-A trên phần mềm AVL - Boost được trình bày trên Hình 4.1 [8]. Các thông số đầu vào của mô hình bao gồm: Thông số kết cấu (được xác định bằng tài liệu kỹ thuật [12,13] và do trực tiếp từ động cơ). Các thông số về áp suất khí tăng áp, áp suất phun, số lần phun, lượng nhiên liệu cung cấp cho một chu trình... được trình bày chi tiết trong công trình [6,7]. Mô hình sau khi lập được hiệu chỉnh theo diễn biến áp suất bên trong xi-lanh, N_e , g_e ở chế độ định mức đã được trình bày trong công trình [8].



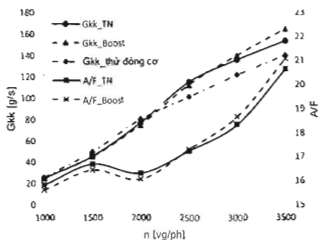
C1 - C4 - Xi-lanh; TC1 - Tuabin-máy nén; CO1, CO2 - Bộ làm mát khí nạp và khí EGR; SB1, SB2 - Điều kiện biên đầu vào và ra; MP1 - MP18 - Các phần tử điểm đo

Hình 4.1: Mô hình mô phỏng động cơ 2.5TCI-A

Tiến hành chạy mô hình mô phỏng ở hai chế độ là sử dụng hệ số tổn thất qua xu-páp nạp - thải đã đo trực tiếp trên bộ thử tổn thất và sử dụng đường tổn thất qua xu-páp theo mặc định của phần mềm tại chế độ 100% tải ở tốc độ 1000 đến 3500 (vg/ph). Kết quả so sánh các thông số N_e , g_e , lưu lượng không khí (G_{kh}) và hệ số A/F trong hai trường hợp trên được trình bày trên Hình 4.2, trong đó các thông số được tính toán trên Boost khi sử dụng đường tổn thất thử nghiệm và mặc định lần lượt được ký hiệu là "TN" và "mặc định"; các thông số thử nghiệm khi động cơ làm việc trên bảng được ký hiệu là "thử nghiệm động cơ", ta thấy:



a) - Kết quả N_e và g_e



b) - Kết quả G_{kk} và A/F

Hình 4.2: Kết quả đánh giá giá thông số N_g , g_v và A/F khi sử dụng m_j khác nhau

Khi sử dụng hệ số tổn thất xác định trên bề mặt và đường mặc định của phần mềm kết quả về Ne và ge của động cơ chế độ 100% tải không có sự khác nhau nhiều so với kết quả thử nghiệm khi động cơ làm việc trên bề mặt thử. Tuy nhiên, đối với lưu lượng khí nạp có sự sai khác lớn giữa kết quả tính toán lý thuyết (sử dụng đường tổn thất thử nghiệm, mặc định) và kết quả thử nghiệm trên bề mặt thử động cơ tại vùng tốc độ động cơ vượt qua điểm có mô-men lớn nhất (2500 vg/ph) do ở những chế độ tốc độ cao, tải cao áp suất khí sau tăng áp lớn lưu lượng khí nạp lớn chỉ cần có sự thay đổi nhỏ về m_j cũng sẽ dẫn đến sự thay đổi lớn về lưu lượng, sự sai khác lớn nhất tại 100% tải ở 3500 (vg/ph) khi so sánh G_{kk} tính toán trên Boost sử dụng đường tổn thất thử nghiệm so với đường mặc định là 5.1%.

Kết quả so sánh sai số lớn nhất khi xác định G_{kk} giữa tính toán lý thuyết sử dụng đường tổn thất thử nghiệm so với kết quả xác định khi chạy thử nghiệm khi thử động cơ trên bề mặt là 9.75% tại 3500 vg/ph, cùng sai số trên khi so sánh giữa tính toán lý thuyết sử dụng đường tổn thất mặc định và kết quả xác định khi thử động cơ trên bảng là 17.48%. Điều này cho thấy việc sử dụng đường tổn thất đo bằng thực nghiệm sẽ cho kết quả xác định G_{kk} chính xác hơn so với việc sử dụng đường mặc định. Kết quả xác định G_{kk} giữa tính toán lý thuyết và thực nghiệm có sự sai khác lớn như trên có thể được giải thích do đường tổn thất đo bằng thực nghiệm chưa xét được ảnh hưởng của nhiệt độ, khối lượng riêng của dòng khí khi động cơ làm việc, khí nhiệt độ động khí thay đổi sẽ ảnh hưởng đến khối lượng riêng và lưu lượng khối lượng của môi chất nạp/thải.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày các cơ sở lý thuyết nhằm đánh giá ảnh hưởng của hệ số m_j đến lưu lượng không khí nạp vào xi-lanh, thông qua đó ảnh hưởng đến các thông số kinh tế, năng lượng của động cơ.

Đã nghiên cứu cơ sở lý thuyết, các trang thiết bị, tạo đồ gá và các thiết bị phụ trợ nhằm xác định diện tích năng xu-páp, hệ số tổn thất lưu lượng theo độ

năng xu-páp kết quả thử nghiệm là thông số đầu vào cho việc xây dựng mô hình đánh giá ảnh hưởng của m_j đến thông số kinh tế, năng lượng của động cơ trên phần mềm AVL - Boost;

Đã nghiên cứu được ảnh hưởng của m_j đến Ne, ge, G_{kk} và tỷ số A/F của động cơ. Kết quả cho thấy việc sử dụng hệ số m_j mặc định sẽ không có sự sai khác nhiều về Ne, ge của động cơ ở chế độ 100% tải so với việc sử dụng m_j thực nghiệm. Tuy nhiên, đo sai khác về G_{kk} có thể lên đến 5.1% khi so sánh giữa việc tính toán sử dụng đường tổn thất mặc định và đường tổn thất thử nghiệm, điều này làm ảnh hưởng đến hệ số A/F của động cơ khi mô phỏng. Kết quả so sánh G_{kk} giữa tính toán lý thuyết và thử nghiệm khi động cơ làm việc trên bề mặt cho thấy sử dụng đường tổn thất xác định bằng thực nghiệm có độ chính xác cao hơn so với khi sử dụng đường tổn thất mặc định.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Hà Quang Minh (2002), *Lý thuyết động cơ*, Hà Nội, NXB. Quân đội nhân dân.
- [2]. Hà Quang Minh, Nguyễn Hoàng Vũ (2010), *Phun nhiên liệu điều khiển điện tử trên động cơ đốt trong*, NXB. Quân đội nhân dân, Hà Nội
- [3]. Nguyễn Hoàng Vũ, *Báo cáo tổng kết Đề tài NCKH & PTCN cấp Quốc gia "Nghiên cứu chế tạo thử nghiệm ECU phù hợp cho việc sử dụng nhiên liệu diesel sinh học với các mức pha trộn khác nhau"*, mã số ĐT.08.14/NLSH thuộc Đề án phát triển nhiên liệu sinh học đến năm 2015, tầm nhìn đến năm 2025.
- [4]. Trần Trọng Tuấn, Vũ Ngọc Khiêm, Nguyễn Hoàng Vũ (4/2014), *Đánh giá ảnh hưởng của việc tuần hoàn khí thải (EGR) đến các chỉ tiêu kinh tế, năng lượng và môi trường động cơ diesel*, Tạp chí GTVT.
- [5]. Trần Trọng Tuấn, Phạm Trung Kiên, Phùng Văn Được, Nguyễn Hoàng Vũ và các đồng sự (6/11/2015), *Xác định các thông số công tác và mức phát thải ô nhiễm của động cơ diesel Hyundai 2.5TCI-A bằng thực nghiệm*, Kỷ yếu Hội nghị KHCN Toàn quốc về Cơ khí 2015, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh, ISBN: 978-604-73-3690-6.
- [6]. Phùng Văn Được, Trần Trọng Tuấn, Phạm Trung Kiên, Nguyễn Hoàng Vũ và các đồng sự (6/11/2015), *Khảo sát ảnh hưởng của chế độ tải, tốc độ đến diễn biến quá trình phun nhiên liệu và áp suất trong xi-lanh động cơ diesel Hyundai 2.5TCI-A bằng thực nghiệm*, Kỷ yếu Hội nghị KHCN Toàn quốc về Cơ khí 2015, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh, ISBN:978-604-73-3690-6.
- [7]. Trần Trọng Tuấn, Nguyễn Xuân Đạt, Nguyễn Hoàng Vũ (9/2016), *Nghiên cứu xác định bộ thông số hiệu chỉnh mô hình cháy của động cơ diesel Hyundai D4CB 2.5TCI-A trong phần mềm AVL - Boost*, Tạp chí Cơ khí Việt Nam.
- [8]. Trần Trọng Tuấn, Khổng Văn Nguyễn, Vũ Ngọc Khiêm, Nguyễn Hoàng Vũ (4/2018), *Thực nghiệm xác định thuộc tính của dòng khí tuần hoàn (EGR) trên động cơ Hyundai 2.5TCI-A khi sử dụng B10, B20*, Tạp chí GTVT
- [9]. Trần Trọng Tuấn, Khổng Văn Nguyễn, Vũ Ngọc

Khiêm, Nguyễn Hoàng Vũ (5/2018), *Nghiên cứu đặc điểm làm việc của hệ thống EGR trên động cơ Hyundai 2.STCI-A bằng thực nghiệm*, Hội nghị Khoa học Công nghệ GTVT lần thứ IV, ISBN: 978-604-76-1578-0.

[10]. AVL List GmbH (2013), *Theory and Guide Document*.

[11]. GDS software, *GDS/manual/HI-BUS(TQ)/2009/D2.STCI-A*.

[12]. *AVL boost support/guide using AVL - MCC model*.

[13]. Darren Todd, *DIY Flowbench Design and Construction*.

[14]. [Http://www.dtec.net.au](http://www.dtec.net.au).

Ngày nhận bài: 26/3/2019

Ngày chấp nhận đăng: 10/4/2019

Người phản biện: TS. Nguyễn Hà Hiệp

TS. Nguyễn Công Đoàn