

## MỘT SỐ KẾT QUẢ LÝ THUYẾT VÀ THỰC NGHIỆM SẢN SINH ĐIỆN NĂNG BẰNG THIẾT BỊ TEG TẬN DỤNG NHIỆT KHÍ THẢI ĐỘNG CƠ XE BUS D1146

Nguyễn Huy Chiến<sup>1</sup>, Nguyễn Hà Hiệp<sup>2</sup>

**Tóm tắt:** Bài báo trình bày kết quả tính toán lý thuyết tiềm năng nhiệt khí thải và điện năng có thể thu được khi tận dụng nhiệt khí thải động cơ D1146 trên xe bus bằng cách sử dụng các module nhiệt điện trong thiết bị phát điện nhiệt (Thermoelectric Generator – TEG). Khi sử dụng 6 module nhiệt điện điện năng sản sinh ra ở chế độ làm việc định mức của động cơ ( $n = 2500$  vg/ph;  $N_e = 130,5$  kW) bằng 38,5W; Trên cơ sở khảo sát một số loại module nhiệt điện hiện hành trong và ngoài nước, khả năng lắp đặt thiết bị TEG trong khoang máy xe bus Thăng Long/Hà Nội đã tính toán thiết kế, chế tạo một mô hình TEG phù hợp. Cũng trong bài báo trình bày sơ đồ thực nghiệm và kết quả thực nghiệm ứng dụng TEG lắp trên ống thải của động cơ D1146 trên xe bus. Thực nghiệm được tiến hành khi xe đỗ bên động cơ trên xe làm việc, kết quả điện năng thu được ở chế độ tốc độ định mức 2500 vg/ph là 16,1 W. Để có năng lượng điện lớn có thể sử dụng nhiều module nhiệt điện. Việc sử dụng thiết bị phát điện dùng module nhiệt điện là một hướng ứng dụng nhiều triển vọng.

**Từ khóa:** Động cơ D1146, khí thải, module nhiệt điện, TEG, mặt lạnh, mặt nóng.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong động cơ đốt trong kiểu piston (tiếp theo gọi là động cơ đốt trong – ĐCĐT) quá trình chuyển hóa nhiệt năng do đốt cháy nhiên liệu thành cơ năng có ích kèm theo mất mát đến 40 – 45% nhiệt năng ra môi trường cùng khí thải (Колчин А.И., Демидов В.П., 2008). Các phương pháp truyền thống để tận dụng nguồn nhiệt năng khí thải là sử dụng tuabo tăng áp, sử dụng nồi hơi tận dụng nhiệt hoặc sử dụng nhiệt khí thải để hâm nóng nhiên liệu. Đối với ô tô nói riêng và các phương tiện cơ giới giao thông đường bộ nói chung, việc tận dụng nhiệt khí dùng nồi hơi là không thể.

Việc tính toán, thiết kế, chế tạo một thiết bị để biến nhiệt năng khí thải trực tiếp thành điện năng sử dụng vào các mục đích khác nhau đã được các nước tiên tiến nghiên cứu và ứng dụng, song ở nước ta vấn đề này chưa được quan tâm nhiều. Cùng với những thành tựu trong lĩnh vực nhiệt điện (tạo ra vật liệu mới, phát triển công nghệ nano...) là sự quan tâm đến ứng dụng kỹ thuật nhiệt điện để tạo điện

năng. Gần đây, các nhà nghiên cứu đã đưa ra phương án sử dụng module nhiệt điện cấu thành thiết bị phát điện nhiệt (Thermoelectric Generator – TEG) để tận dụng nhiệt năng khí thải ĐCĐT, đặc biệt là trên ô tô. Ví dụ, Công ty “BMW AG” đã lắp đặt lên một số động cơ ô tô (BMW 5 series Sedan) thiết bị phát điện nhiệt, công suất của tổ hợp máy với TEG tăng lên 15% khi sử dụng hệ thống dẫn động phức hợp (<http://www.bmw.ru>, truy cập ngày 15.6.2019) (theo từng chế độ vận hành, một số hoặc toàn bộ thiết bị treo được dẫn động từ nguồn năng lượng do TEG sinh ra).

Trong nước đã có một số nghiên cứu ứng dụng thiết bị TEG cho động cơ trên bộ thử (Nguyễn Hà Hiệp, Đào Trọng Thắng, 2013) bước đầu đã thu được một số kết quả lý thuyết và thực nghiệm khả quan. Trên cơ sở đó, Bộ môn lý thuyết chuyên ngành, Trường Đại học Công Nghiệp Hà Nội đã đề xuất đề tài nghiên cứu khoa học cấp cơ sở “Nghiên cứu thiết kế, chế tạo thiết bị phát điện tận dụng nhiệt năng từ khí thải của động cơ D1146 trên xe bus” (Nguyễn Huy Chiến, 2018) nhằm mục đích nghiên cứu, khai thác khả năng thực tế của thiết bị TEG trên cơ sở tận dụng nhiệt khí thải của ĐCĐT.

---

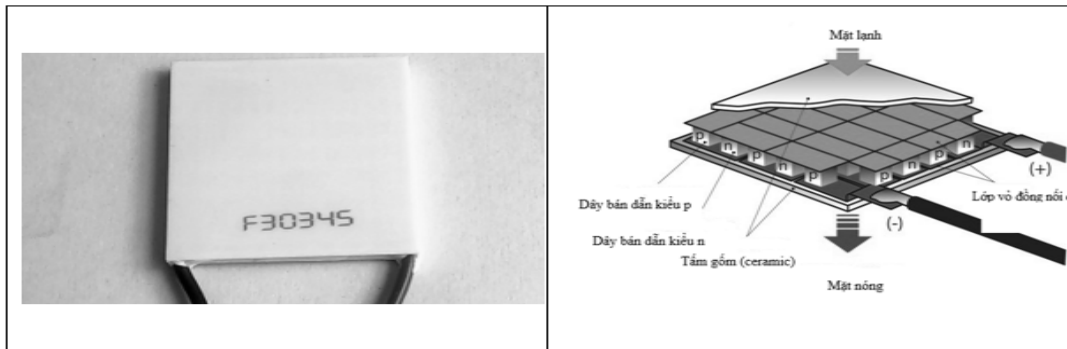
<sup>1</sup> Trường Đại học Công Nghiệp Hà Nội

<sup>2</sup> Học viện Kỹ thuật Quân sự

## 2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Trong nghiên cứu đối tượng được lựa chọn là động cơ D1146 lắp trên xe bus Thăng Long đang lưu

hành tại Hà Nội khi sử dụng các module nhiệt điện TEG-F30345 của hãng Xinghe Electric (Hình 1) (<http://kryotherm.ru>, truy cập ngày 15.6.18)



Hình 1. Module nhiệt điện TEG-F30345

Các thông số kỹ thuật chính của module nhiệt điện TEG-F30345 được giới thiệu trong (bảng 1) (<http://kryotherm.ru>, truy cập ngày 15.6.18)

**Bảng 1. Thông số của module nhiệt điện TEG-F30345**

Hiệu điện thế, V	5,2
Cường độ dòng điện, A	0,8
Công suất, W	4,16
Điện trở trong, $\Omega$	4,72
Kích thước, dài, rộng, cao, mm	40 x 40 x 3,8
Nhiệt độ làm việc mặt mát, $^{\circ}\text{C}$	50
Nhiệt độ làm việc mặt nóng, $^{\circ}\text{C}$	300
Hiệu suất, %	3,8

Phương pháp nghiên cứu là kết hợp giữa nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm kiểm chứng. Trên cơ sở lý thuyết tính toán chu trình công tác của ĐCĐT, thực hiện tính toán tiềm năng nhiệt khí thải và điện năng có thể thu được khi tận dụng nhiệt khí thải động cơ D1146. Thông qua khảo sát các loại module nhiệt điện, ứng dụng chúng trên ĐCĐT, tiến hành tính toán, thiết kế và chế tạo một mô hình thiết bị phát nhiệt điện TEG, cũng như thử nghiệm thực tế xác định điện năng sản sinh ra trên thiết bị này.

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Kết quả tính toán lý thuyết

Để tính toán lý thuyết, chọn các chế độ tính toán theo đặc tính ngoài của động cơ ứng với tốc độ 40%,

60%, 80%, 100% tốc độ định mức  $n_{dm}$ . Động cơ D1146 có  $n_{dm} = 2500$  (vg/ph), nên các chế độ tính toán lấy ứng với tốc độ 1000, 1500, 2000, 2500 (vg/ph). Các chế độ tính toán được thể hiện trong (bảng 2) do thực nghiệm của nhà cung cấp động cơ công bố (<http://www.doosan.com>, truy cập ngày 16.6.2018). Trong đó,  $n$ : tốc độ quay trục khuỷu, vg/ph;  $N_e$ : công suất động cơ, kW;  $g_e$ : suất tiêu thụ nhiên liệu, g/kWh;  $G_{nl}$ : lượng tiêu thụ nhiên liệu, g/h;  $g_{ct}$ : lượng nhiên liệu cấp cho 1 chu trình công tác (CTCT), g/CTCT. Tính toán CTCT được thực hiện bằng phần mềm chuyên dụng Diesel-RK (<http://www.diesel-rk.bmstu.ru>, truy cập ngày 15.6.18)

**Bảng 2. Các chế độ tính toán CTCT của động cơ D1146**

$n$ (vg/ph)	$N_e$ (kW)	$g_e$ (g/kWh)	$G_{nl}$ (g/h)	$g_{ct}$ (g/CTCT)
1000	55	230	12636	0,07020
1500	90	221	19841	0,07349
2000	117	226	26347	0,07319
2500	134	245	32830	0,07296

Nhiệt lượng do khí thải mang ra ngoài trong 1 giây được xác định theo công thức (Колчин А.И., Демидов В.П, 2008):

$$Q_g = (G_{nl} + G_{kk}) \cdot C_{kt} \cdot (t_{kt} - t_{mt}) \quad (1)$$

Trong (1):  $Q_g$ : lượng nhiệt khí thải động cơ trong 1 giây, J/s;  $G_{nl}$ : lượng tiêu thụ nhiên liệu, kg/s;  $G_{kk}$ : lượng tiêu thụ không khí, kg/s;  $C_{kt}$ : nhiệt dung riêng

đẳng áp của khí thải,  $C_{kt} = 1040 \text{ J/(kg.độ)}$ ;  $t_{kt}$ : nhiệt độ khí thải, °C;  $t_{mt}$ : nhiệt độ môi trường, °C.

Giá trị nhiệt dung riêng của khí thải phụ thuộc vào nhiệt độ khí thải, trong phạm vi nghiên cứu lý thuyết, để đơn giản hóa trong tính toán, chọn giá trị nhiệt dung riêng đẳng áp của khí thải không đổi cho các chế độ làm việc của động cơ, tương ứng là nhiệt độ khí thải ở chế độ làm việc ổn định, theo khuyến cáo (YOHN B, 1979) trong bài toán này chọn giá trị không đổi  $C_{kt} = 1040 \text{ J/(kg.độ)}$ .

Thiết bị TEG được cấu thành từ các module nhiệt điện, bộ phận trao đổi nhiệt, ống thải của động cơ. Do đó hiệu suất của thiết bị TEG là tích lũy hiệu suất của các bộ phận cấu thành. Trong tính toán lý thuyết, ta chưa thể xác định hiệu suất riêng từng bộ phận của thiết bị TEG nên để đánh giá sơ bộ công

suất điện năng thu được khi sử dụng thiết bị TEG có thể coi thiết bị như một "hộp đen", hiệu suất của thiết bị bằng hiệu suất của module nhiệt điện (Nguyễn Hà Hiệp, Đào Trọng Thắng, 2013). Khi đó:

$$P_{LT} = Q_g \cdot \eta, \text{ W} \quad (2)$$

Trong (2):  $Q_g$ : tiềm năng nhiệt khí thải được xác định theo công thức (1);  $\eta$ : hiệu suất của module nhiệt điện, theo bảng 1.

Kết quả tính toán tiềm năng nhiệt khí thải và điện năng thu được cho 1 module  $P_{LT1}$  và 6 module  $P_{LT6}$  được trình bày trong bảng 3 (<http://www.dieselsrk.bmstu.ru>, truy cập ngày 15.6.18) với  $\Delta t$  – chênh lệch nhiệt độ mặt nóng và mặt lạnh. Ở đây giả thiết hiệu suất của module tối ưu 3,8% (như điều kiện ở bảng 1).

**Bảng 3. Kết quả tính toán tiềm năng nhiệt khí thải và điện năng thu được**

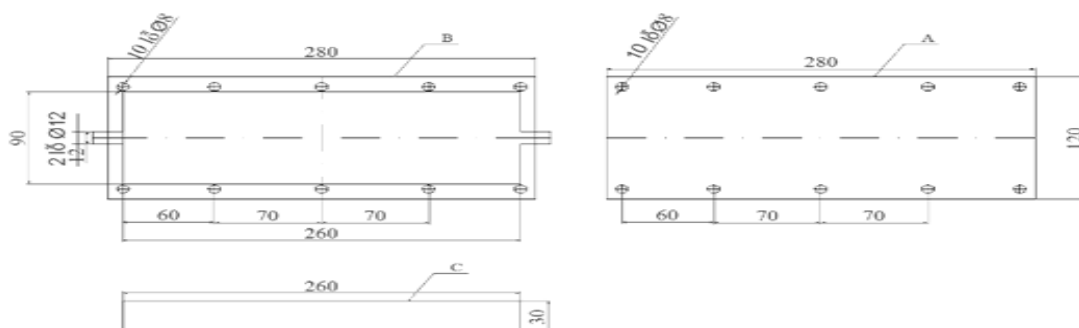
TT	n (vg/ph)	Ne (kW)	g <sub>e</sub> (g/kW.h)	Δt (°C)	G <sub>g</sub> (kg/s)	Q <sub>g</sub> (J/s)	P <sub>LT1</sub> (W)	P <sub>LT6</sub> (W)
1	1000	57,3	236	90	0,1179	56035,51	2,13	12,78
2	1500	89,5	223	100	0,1740	104413,9	3,97	23,82
3	2000	113,6	226	110	0,2239	140645	5,34	32,04
4	2500	130,5	232	120	0,2640	168579,8	6,41	38,46

Như vậy, với nguồn năng lượng dự trữ của khí thải động cơ D1146 có thể chế tạo một thiết bị TEG từ 6 module nhiệt điện với hệ số điện trở ngoài và điện trở trong đã chọn (Nguyễn Huy Chiển, 2018) công suất cực đại thu được là 38,46 W.

### 3.2. Thiết kế, chế tạo thiết bị TEG

Thiết bị TEG có kết cấu có thể tháo lắp được (hình 2) bao gồm cụm hấp thụ nhiệt từ khí thải được hàn một lớp đồng dày 10mm, mặt ngoài gia

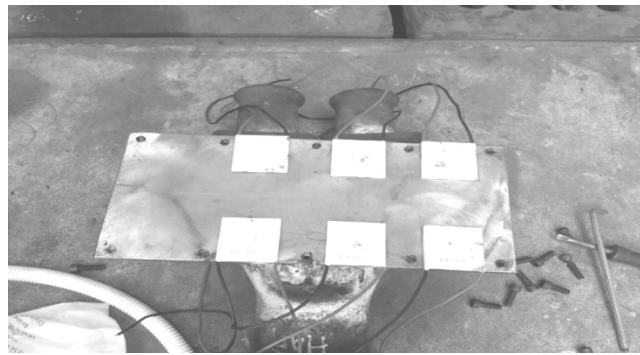
công phẳng để gắn các module nhiệt điện. Mặt còn lại của các module tiếp xúc cụm làm mát cũng chế tạo bằng đồng để đảm bảo truyền nhiệt tốt. Hốc nước làm mát là không gian bên trong hộp đồng có 2 ống để dẫn nước vào và ra. Nước làm mát được lấy từ két mát của động cơ. Dây dẫn điện để lấy điện từ các module được quấn lên phía trên hộp làm mát, do đó không bị tác dụng của nhiệt làm hỏng dây.



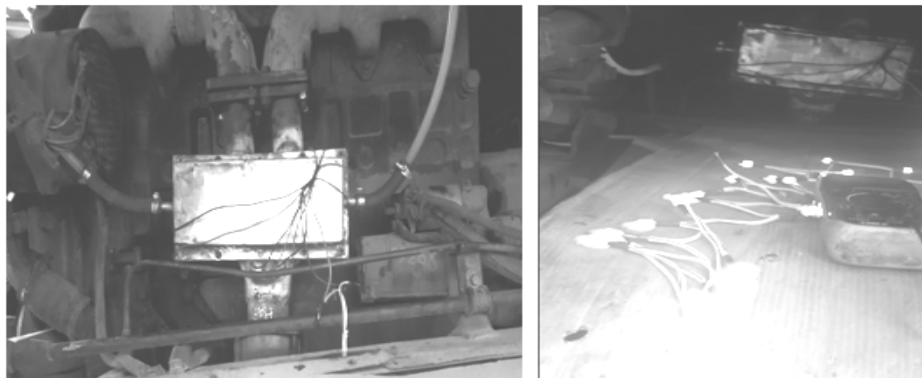
Hình 2. Bản vẽ thiết kế thiết bị phát điện nhiệt TEG  
A: Mặt nóng; B: Mặt lạnh; C: Hộp chứa nước làm mát

Trên thiết bị có gắn các cảm biến để đo nhiệt độ của mặt nóng và mặt lạnh. Các module nhiệt điện

được lắp nối tiếp như hình 3, kết quả thiết bị phát ra dòng điện 1 chiều làm sáng các đèn led như hình 4.



Hình 3. Lắp ghép các module nhiệt điện vào mặt nóng của TEG

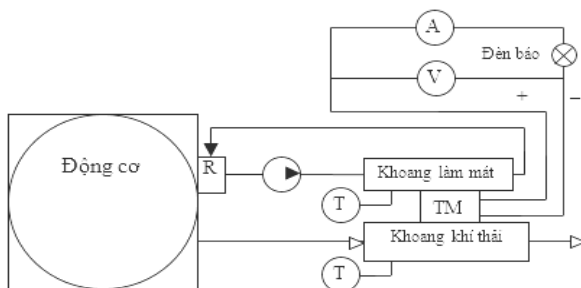


Hình 4. Thiết bị phát điện dùng trong thực nghiệm

### 3.3. Sơ đồ và các thiết bị dùng trong thực nghiệm

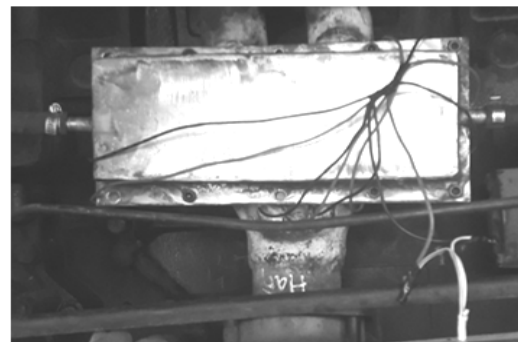
Trên hình 5 giới thiệu sơ đồ thực nghiệm và hình

6 giới thiệu thiết bị TEG lắp trên đường thải của động cơ D1146



Hình 5. Sơ đồ thực nghiệm

T: cảm biến nhiệt; A: Ampe kế; V: Vol kế;  
TM: Module nhiệt điện; R: Két mát động cơ



Hình 6. Thiết bị TEG lắp trên đường thải của động cơ D1146

### 3.4. Các kết quả thực nghiệm và bàn luận

Điều kiện thực nghiệm là xe bus nổ máy tại chỗ (chế độ không tải), nhiệt độ khí thải được điều chỉnh bằng cách thay đổi cung cấp nhiên liệu vào động cơ.

Bằng trực quan, dòng điện sinh ra được quan sát bằng độ sáng của đèn báo. Để ghi lại các thông số điện năng sinh ra, sử dụng đồng hồ đo điện Sannuo YX-960TR.

Khi nhiệt độ mặt nóng  $t_g = 120^\circ\text{C}$ , nhiệt độ mặt lạnh  $t_w = 37^\circ\text{C}$  đèn báo chưa sáng. Khi  $t_g = 132^\circ\text{C}$ ,  $t_w = 42^\circ\text{C}$  đèn báo sáng, tiến hành đo kết quả.

Kết quả thực nghiệm được thể hiện trong (bảng

4) (Nguyễn Huy Chiển, 2018). Trong đó, công suất  $P_{\text{TN6}}$  của thiết bị TEG được xác định theo công thức:

$$P_{\text{TN6}} = I \cdot U \quad (3)$$

**Bảng 4. Kết quả thực nghiệm thiết bị phát nhiệt điện**

TT	n, (vg/ph)	$t_g$ ( $^\circ\text{C}$ )	$t_w$ ( $^\circ\text{C}$ )	$\Delta t = t_g - t_w$ ( $^\circ\text{C}$ )	U (V)	I (A)	$P_{\text{TN6}}$ (W)
1	1000	142	42,5	99,5	11,1	0,57	6,33
2	1500	170	44,5	125,5	12,6	0,75	9,45
3	2000	200	47,2	152,8	13,8	1,00	13,80
4	2500	220	48,6	171,4	14,9	1,08	16,09

Kết quả so sánh điện năng thu được giữa tính toán lý thuyết và thực nghiệm được trình bày trong bảng 5.

**Bảng 5. Kết quả so sánh điện năng thu được giữa tính toán lý thuyết và thực nghiệm**

TT	n (vg/ph)	$P_{\text{LT1}}$ (W)	$P_{\text{LT6}}$ (W)	$P_{\text{TN6}}$ (W)	Sai khác (%)
1	1000	2,13	12,78	6,33	49,5
2	1500	3,97	23,82	9,45	39,7
3	2000	5,34	32,04	13,80	43,1
4	2500	6,41	38,46	16,09	41,8
Trung bình					43,5

Từ bảng 5 ta thấy, sai số trung bình giữa kết quả thực nghiệm và tính toán lý thuyết khoảng 43,5%, kết quả này có thể nói lên rằng:

Tính toán lý thuyết được thực hiện khi động cơ làm việc ở chế độ có tải, trong khi đó thực nghiệm được tiến hành khi động cơ chạy không tải ở cùng chế độ tốc độ;

- Khi tính toán lý thuyết, hiệu suất của TEG được lấy bằng hiệu suất của module nhiệt điện thực tế, hiệu suất sản xuất điện năng của thiết bị TEG ngoài hiệu suất của module nhiệt điện còn bao gồm hiệu suất tích lũy của các bộ phận cấu thành, ở đây chủ yếu là hiệu suất truyền nhiệt qua các cụm làm mát trong thiết bị TEG. Khi đó hiệu suất tổng thể của thiết bị TEG khoảng  $0,435.3,8\% = 1,653\%$ .

#### 4. KẾT LUẬN

Hiệu điện thế và cường độ dòng điện sinh ra từ thiết bị tăng theo sự gia tăng nhiệt độ khí thải.

- Trong nghiên cứu khi thử nghiệm chỉ sử dụng 6 module nhiệt điện nên mới tận dụng được khoảng 0,03% năng lượng của khí thải để sản sinh điện năng (điện năng thu được 38,46 W, công suất của động cơ 130,5 kW).

- Thông qua mẫu thiết bị TEG đã chế tạo đánh giá được hiệu suất tổng thể của thiết bị TEG đây là cơ sở để thiết kế, chế tạo thiết bị TEG hoàn chỉnh hơn.

- Việc sử dụng thiết bị phát điện trên cơ sở tận dụng nhiệt năng của khí thải động cơ là một hướng ứng dụng nhiều triển vọng vì tiềm năng nhiệt khí thải để phát điện là rất lớn. Để có năng lượng điện lớn có thể sử dụng nhiều module nhiệt điện.

- Để đánh giá đầy đủ hiệu quả sản sinh điện năng bằng thiết bị TEG cần thực nghiệm chạy xe ở các chế độ tải khác nhau.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Nguyễn Huy Chiên (2018), “*Nghiên cứu thiết kế, chế tạo thiết bị phát điện tận dụng nhiệt năng từ khí thải của động cơ D1146 trên xe Bus*”, Đề tài NCKH cấp cơ sở, Trường Đại học Công Nghiệp Hà Nội.
- Nguyễn Hà Hiệp, Đào Trọng Thắng (2013), “*Kết quả thử nghiệm thiết bị phát điện tận dụng nhiệt năng của khí thải trên động cơ Toyota 7KE*”, Học viện Kỹ thuật quân sự, Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật số 156, trang 41 -48.
- Bitschi (2009), *A. Modelling of thermoelectric devices for electric power generation: dissertation submitted to the Swiss Federal Institute of Technology Zurich*, - 144 p.
- Анатычук Л.И. (1989), *Термоэлементы и термоэлектрические устройства*: Справочник. – Киев: Наук. думка, – 766 с.
- Колчин А.И. (2008), *Демидов В.П. Расчет автомобильных и тракторных двигателей. Учеб. Пособие для вузов*, – М: Высш. Шк, – 496 с.
- Уонг В (1979), *Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров*, – М.: Атомиздат
- <http://www.doosan.com>, truy cập ngày 16.6.2018
- <http://www.diesel-rk.bmstu.ru>, truy cập ngày 15.6.18
- <http://kryotherm.ru>, truy cập ngày 15.6.18.
- <http://www.bmw.ru> [truy cập ngày 15.6.2019]

### Abstract:

#### **SOME THEORETICAL AND EXPERIMENTAL RESULTS OF THE RECOVERY OF ELECTRIC POWER ON THE BUS D1146 WHEN USING TEG EQUIPMENT MAKE USE OF MOTOR EXHAUST HEAT**

*The article presents the results of the theoretical calculation of the potential of exhaust gas and electricity that can be obtained when utilizing the exhaust heat of the D1146 engine on the bus by using thermoelectric modules (ThermoelectricGenerator - TEG). When using 6 thermoelectric power modules produced in the rated working mode of the engine ( $n = 2500$  vg / ph;  $N_e = 130.5$  kW) by 38.5W; On the basis of surveying some types of thermoelectric modules currently in and out of the country, the ability to install equipment TEG in the bus compartment of Thang Long / HaNoi has calculated the design and fabricated an appropriate TEG model. Also this paper presented experimental diagram and experimental results of TEG application installed on the exhaust pipe of D1146 engine on the bus. The experiment was carried out when the vehicle parked at the engine on the working vehicle, the electric power result obtained at the rated speed mode of 2500 vg / ph was 16.1 W. The use of power generators using thermal modules is a very promising application. For large electric power power can use multiple thermoelectric modules.*

**Keywords:** Diesel D1146, exhaust gas, thermoelectric module, TEG, cold side, heat side.

---

Ngày nhận bài: 21/6/2019

Ngày chấp nhận đăng: 22/8/2019