УДК 631.371:621.1

Резервне живлення модуля управління побутового газового котла

Татарніков[f] М. Д.,
e-mail ktoya232@gmail.com
Трояновська[s] П. І.,
e-mail kutpolina@gmail.com
Києво-Печерський ліцей № 171 «Лідер»
Київ, Україна

Могильний[s] С. Б., к.т.н. доц., ORCID 0000-0001-9266-4290
e-mail s.mohylnyi@kpi.ua / isearch@ukr.net
Радіотехнічний факультет
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»
Київ, Україна

***Анотація*—В роботі розглядаються проблеми, зумовлені перебоями в електроживленні газового котла. Пропонується використати двигун Стірлінга для забезпечення безперебійного живлення електронних пристроїв автоматики. Виконано огляд переваг та недоліків окремих складових технологій двигуну Стерлінга: цикла Ренкіна та елементів Пельтьє. Також у роботі наведено принцип дії розглянутого двигуна та виконані розрахунки оцінки його ефективності при використанні в якості джерела резервного електроживлення. На основі проведених розрахунків ККД зроблено висновок щодо потенціалу подальшого розвитку запропонованого рішення.**

Бібл. 10, рис. 3.

Ключові слова — газовий котел;. двигун Стірлінга; термоелектричний генератор.

I. Вступ

Робота сучасного газового котла неможлива без електронного модуля управління. Але, коли зникає напруга в мережі – зникає і опалення. Отже, необхідно забезпечити безперебійне постачання електричного струму на модуль управління.

Сьогодні ринок переповнений газовими нагрівачами повітря або газовими тепловими гарматами різних виробників і вже є спроби використати їх для отримання електроенергії [1].

Виробляти механічну енергію, яка в подальшому перетворюється в електричну і теплову енергію, дозволяють теплові двигуни [2]. Сучасними напрямами перетворення теплової енергії в механічну і електричну є: двигуни Стірлінга; машини, що працюють по циклу Ренкіна; термоелектричні генератори (на ефектах Зеебека [3], Томсона і Пельтьє).

Двигун Стірлінга має низку переваг у порівнянні з двигунами внутрішнього згоряння. У нього немає складних паливних систем, він практично безшумний, може працювати на будь-якому виді палива або теплової енергії, має високу пристосовність, а також високий теоретичний ККД 50%. В [4] розглядається використання стірлінг-електричних установок для утилізації теплоти газів, відпрацьованих двигунами внутрішнього згоряння.

Установка, яка використовує технологію з циклом Ренкіна, містить теплообмінник, в якому тепло, що підводиться, йде на нагрів робочого тіла і перетворення його в газ. Газ (пар) надходить в турбіну і обертає генератор, після чого пара потрапляє в конденсатор, де охолоджується і перетворюється в рідину, після чого поступає назад в перший теплообмінник.

Термоелектричні генератори, які грунтується на ефекті Пельтьє, дозволяють перетворити теплову енергію в електричну. Перевагою елемента Пельтьє є: невеликі розміри; відсутність будь-яких рухомих частин, а також газів і рідин; відсутність механічних частин; відсутність шуму.

До недоліків елементів Пельтьє відносять дуже низький ККД та високу вартість елемента. Однак, незважаючи на це, елементи Пельтьє застосовують для охолодження різних приладів і як генератори для виробництва енергії для бортової мережі. Так, Китай налагодив виробництво елементів Пельтьє [5] вартістю до 7 євро, які можуть забезпечити за схемами «тепло-холод» потужність до 200 Вт, термін служби до 200 000 годин і працюють при температурі від -30 до 138 °С.

Copyright (c) 2019 Татарніков М. Д., Трояновська П. І., Могильний С. Б.

Запропонований термоелектричний генератор [6] працює на природному газі, пропані або пропано-бутановій суміші. Він дозволяє створити автономні джерела електроенергії потужністю від 150 до 5000 Вт для живлення катодного захисту газопроводів від корозії. Хоча, першими були термогенератори ТГК-10 і ТГК-16, розроблені ще в 1958-1959 рр. для газопроводу Дашава - Київ [7].

Оцінки ефективності термоелектричного перетворення тепла від горіння газу в малорозмірній системі розглянуті в [8]. Показано, що максимальна ефективність перетворення тепла від згоряння газу може наближатися до максимальної ефективності термоелектричного перетворення.

II. Використання двигуна Стірлінга для резервного електроживлення

Розглянемо використання двигуна Стірлінга, який буде працювати від газу, що спалюється у котлі.

Якщо розмістити гарячий поршень двигуна в зоні теплообмінника води котла, можна не втрачати додатковий газ на роботу двигуна, тобто збільшити його ККД.

Двигун Стірлінга (ДС) працює за замкненим циклом Стірлінга [9]. Незмінна кількість робочої речовини циркулює між двома камерами із різними температурами, де по черзі нагрівається та охолоджується. За рахунок цього змінюється тиск робочої речовини, який і рухає робочі поршні.

Принципово в будь-якому тепловому двигуні для отримання корисної роботи необхідно стискати холодне робоче тіло і розширяти його після нагрівання. Термодинамічний цикл роботи двигуна Стірлінга (Рис.1) складається з наступних процесів:

- Стискання по ізотермі *ac* з відведенням теплоти Q_2''
- Підведення теплоти Q_1' при $V=const$
- Розширення по ізотермі *zb* з підведенням теплоти Q_1''
- Відведення теплоти Q_2' при $V=const$

Ізотермічне стиснення відбувається при низькій температурі T_2 і супроводжується відведенням теплоти Q_2''. Ізотермічне розширення при високій температурі T_1 відбувається з підведенням теплоти Q_1''. Оскільки в процесі *ba* робоче тіло охолоджується від температури T_1 до температури T_2, а в процесі підведення теплоти cz нагрівається від T_2 до T_1, кількість теплоти Q_2' принципово може бути регенерована, тобто віддана робочому тілу в процесі його нагрівання. Регенерація теплоти є відмінною особливістю циклу Стірлінга.

Корисна робота циклу Стірлінга також може бути виражена як різниця робіт: роботи, отриманої в процесі розширення, і роботи, затраченої на процес стиснення; ця різниця еквівалентна площі *aczba.*

Для пояснення принципу роботи двигуна скористуємось рисунками 2-3.

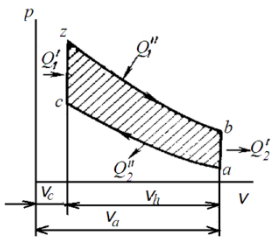
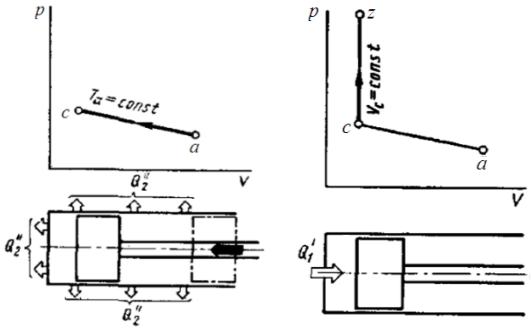
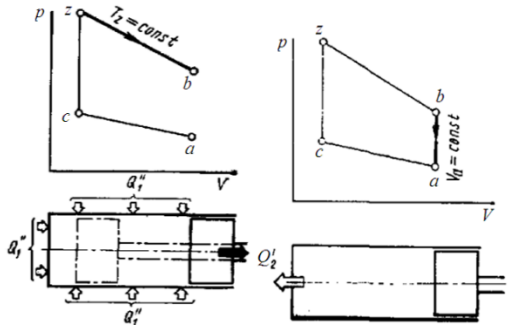


Рис.1. Термодинамічний цикл двигуна Стірлінга



а) б)

Рис.2. Процеси стиснення (а) і нагрівання (б)



а) б)

Рис.3. Процеси розширення (а) і охолодження (б)

Припустимо, що у циклі задіяно 1кг робочого тіла, а тепловтрати відсутні. Процес стиснення (Рис. 2а) починається в момент, коли об'єм $V_a=V_{max}$ циліндра, тиск в ньому дорівнює атмосферному($p_a=p_0$), а температура$T_a=T_2$.

Теплота Q_2'', отримана в результаті стиснення, розсіюється в навколишньому середовищі, як наслідок температура стінки (а відповідно і температура робочого тіла) підтримуються постійною і рівною T_a. Таким чином, в кінці процесу стиснення (точка *c*) температура $T_c=T_a$, об'єм $V_c=V_a$, тиск $p_c>p_a$ і робота, затрачена в процесі ізотермічного стискання, пропорціональна площі, обмеженій кривою *ac*, відповідними координатами і віссю абсцис.

В процесі нагрівання (Рис. 2б) тепло через стінку циліндра передається до робочого тіла. Під час миттєвого підведення теплоти Q_1 до робочого тіла тиск і температура в циліндрі зростають. Об'єм циліндра при цьому береться постійний: $V=const$. Таким

Copyright (c) 2019 Татарніков М. Д., Трояновська П. І., Могильний С. Б.

чином, наприкінці процесу підводження теплоти в точці z температура $T_z=T_1$, тиск $p_z>p_c$ і об'єм $V_z=V_c$.

В процесі розширення робочого тіла (Рис. 3а) його температура підтримується постійною ($T_z=const$) за рахунок безперервного підводження до нього теплоти Q_1''. Об'єм, що займає робоче тіло, в процесі розширення збільшується, а тиск в циліндрі зменшується, при цьому виконується корисна робота. Таким чином, в кінці процесу розширення в точці b температура $T_z=T_2$, об'єм $V_b>V_z$, тиск $p_b<p_z$. Робота, що виконана в процесі ізотермічного розширення, пропорціональна площі, обмеженої кривою, відповідними ординатами і віссю абсцис.

В процесі охолодження (Рис 3б) теплота Q_2 миттєво відводиться від робочого тіла через стінку циліндра. При цьому, тиск в циліндрі падає. Теоретично температура змінюється при охолодженні стрибком від $T_b=T_z$ до T_a, а об'єм залишається постійним: $V_b=V_a=const$. Тоді в кінці процесу охолодження в точці a температура T_a, тиск $p_a=p_0<p_b$, об'єм $V_a=V_b=V_{max}$. Таким чином, робоче тіло повернулось в початковий стан.

Теоретично досяжний ККД двигуна залежить лише від різниці температур нагрівача T_1 і охолоджувача T_2.

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

(температура вимірюється у градусах Кельвіна)

Проте практика показує, що ККД залежить і від таких чинників як коефіцієнта теплопровідності, теплоємності, густини, в'язкості робочого тіла і тертя між поршнями і стінками циліндра [10].

Враховуючи всі ці чинники можна сказати, що ККД сучасного двигуна буде дорівнювати приблизно половині від теоретичного ККД.

В нашому варіанті оціночні температури холодного та гарячого циліндрів двигуна: T2=100℃. T1=500℃;

$$\eta_д \approx \frac{T_1 - T_2}{T_2} \times 0.5 = \frac{400}{773} \text{ x } 0.5 = 0{,}26$$

Тоді, враховуючи ККД генератора, що приблизно дорівнює 85% ККД нашого готового приладу:

$$\eta_п = \eta_д \times 0.85 = 0.22$$

Котел газовий ARISTON CLAS X24 CF має потужність 24 кВт. Якщо 10% цієї енергії витрачати на генерацію електроживлення, то будемо мати потужність нашого пристрою:

$$N_п = N_к \times \eta$$
$$N_п = 24 \times 0{,}1 \times 0{,}22 = 528 \text{ Вт}$$

Отже, потужність пристрою 525 Вт. Враховуючи, що електричне обладнання котла споживає 250-400 Вт, можемо сказати, що запропонована ідея має право на подальшій розвиток.

Надійшла до редакції 10 квітня 2019 р.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

[1] D. S. Strebkov and A. I. Kuskov, "Ispol'zovaniye gazovoy teplovoy pushki dlya polucheniya elektroenergii [Use of a gas heat gun for generating electricity]," Santekhnika, Otopleniye, Konditsionirovaniye, no. 7, 2018, **URL:** https://www.c-o-k.ru/articles/ispolzovanie-gazovoy-teplovoy-pushki-dlya-polucheniya-elektroenergii

[2] N. A. Khripach and A. P. Tatarnikov, "Analiz sistem preobrazovaniya energii otrabotavshikh gazov dlya kogeneratsionnykh elektroustanovok [Analysis of exhaust energy conversion systems for cogeneration electrical installations]," Mod. Probl. Sci. Educ., no. 5, 2013, **URL:** http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=10134

[3] "Thermal generators: how to 'cook' electricity on a gas stove." [Online]. Available: http://electrik.info/main/fakty/453-termo-generatory-kak-svarit-elektrichestvo.html.

[4] V. S. Kukis and A. I. Rybalko, "K vyboru maksimal'noy temperatury rabochego tela pervichnogo dvigatelya utilizatsionnoy stirling-elektricheskoy ustanovki [To the choice of the maximum temperature of the working medium of the primary engine of the utilization of the stirling-electrical installation]," Vestn. Sib. Gos. avtomobil'no-dorozhnoy Akad., vol. 3(17), pp. 33–34, 2010. **URL:** https://cyberleninka.ru/article/n/k-vyboru-maksimalnoy-temperatury-rabochego-tela-pervichnogo-dvigatelya-utilizatsionnoy-stirling-elektricheskoy-ustanovki

[5] "Thermoelectric generator: construction, principle of operation and application." [Online]. Available: https://21ek.ru/raznoe/teplovoj-generator-elektrichestva.html.

[6] "Thermoelectric generators." [Online]. Available: http://kryothermtec.com/ru/thermoelectrical-power-generators/.

[7] A. A. Buryak and N. B. Karpova, Ocherki razvitiya termoelektrichestva [Essays on the development of thermoelectricity]. Kyiv: Nauk, dumka, 1988, **URL:** http://leg.co.ua/knigi/ucheba/ocherki-razvitiya-termoelektrichestva-12.html

[8] S. S. Minaev, I. A. Terletsky, and K. Sudarshan, "Otsenka effektivnosti termoelektricheskogo preobrazovaniya tepla ot goreniya gaza v malorazmernoy sisteme s protivotochnym teploobmenom [Evaluation of the effectiveness of thermoelectric conversion of heat from gas combustion in a small-sized system with ," Inst. Teplofiz. im. S.S.Kutateladze SO RAN, no. 4, pp. 605–613, 2016. **URL:** https://elibrary.ru/item.asp?id=26464643

[9] V. N. Danilichev, S. I. Efimov, and V. A. Zvonov, Stirling engines. Moscow: Mashinostroenie, 1977.

[10] G. T. Reader and L. C. Hooper, Stirling Engines. Spon Press, 1982, **ISBN:** 978-0419124009

Copyright (c) 2019 Татарніков М. Д., Трояновська П. І., Могильний С. Б.

УДК 631.371:621.1

Резервное питание модуля управления бытовым газовым котлом

Татарников[f] М. Д.,
e-mail ktoya232@gmail.com
Трояновска[s] П. І.,
e-mail kutpolina@gmail.com
Киево-Печерский лицей № 171 «Лидер»
Киев, Украина

Могильный[s] С. Б., к.т.н. доц., ORCID 0000-0001-9266-4290
e-mail s.mohylnyi@kpi.ua / isearch@ukr.net
Радиотехнический факультет
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского»
Киев, Украина

***Аннотация*—В работе рассматриваются проблемы, обусловленные перебоями в электропитании газового котла. Предлагается использовать двигатель Стирлинга для обеспечения бесперебойного питания электронных устройств автоматики. Выполнен обзор преимуществ и недостатков отдельных составляющих технологий двигателю Стерлинга: цикла Ренкина и элементов Пельтье. Также в работе приведены принцип действия рассматриваемого двигателя и выполнены расчеты оценки его эффективности при использовании в качестве источника резервного электропитания. На основе проведенных расчетов КПД сделан вывод о потенциале дальнейшего развития предложенного решения.**

Библ. 10, рис. 3.

Ключевые слова - газовый котел; двигатель Стирлинга; термоэлектрический генератор

Copyright (c) 2019 Татарніков М. Д., Трояновська П. І., Могильний С. Б.

UDC 631.371:621.1

Reserve Power of the Household Gas Boiler Control Module

M. D. Tatarnikov[f],
e-mail ktoya232@gmail.com
P. I. Troianovska[s],
e-mail kutpolina@gmail.com
Kyiv Pecherskyi Lycei № 171 "Leader"
Kyiv, Ukraine

S. B. Mohylnyi[s], PhD Assoc.Prof., ORCID 0000-0001-9266-4290
e-mail s.mohylnyi@kpi.ua / isearch@ukr.net
Faculty of Radio Engineering
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
Kyiv, Ukraine

***Abstract*—The paper deals with problems caused by interruptions in the power supply of a gas boiler. It is proposed to use the Stirling engine to ensure uninterrupted power supply of electronic automation devices. The work also describes the principle of operation of the engine in question and calculates the evaluation of its efficiency when using the backup power supply as a source. The Stirling engine operates behind the closed Stirling cycle. The unchanging amount of the working substance circulates between two chambers with different temperatures, which alternately heats and cools. Due to this, the pressure of the working substance, which moves the working pistons, changes.**

The work of a modern gas boiler is impossible without an electronic control module. But when the network voltage disappears, the heating also disappears. Therefore, it is necessary to ensure uninterrupted supply of electric current to the control module. Today, the market is full of gas air heaters or gas heat guns of various manufacturers, and there are already attempts to use them to generate electricity. To generate mechanical energy, which in the future turns into electric and thermal energy, allow thermal motors. Modern directions of transformation of thermal energy into mechanical and electric are: Stirling's engines; cars working on the Renkin cycle; thermoelectric generators on the effects of Seebeck, Thomson and Peltier.

A review of the advantages and disadvantages of individual components of the Stirling enginewas made. Compared to internal combustion engines, the Stirling engine has a number of advantages. It does not have complex fuel systems, it is practically silent, can operate on any type of fuel or thermal energy, has high adaptability, and also high theoretical efficiency of 50%. The disadvantages of Peltier elements include very low efficiency and high element cost. However, in spite of this, Peltier elements are used to cool various devices and as generators for power generation for the on-board networks. It is proposed to use the Stirling's engine to ensure uninterrupted power supply of electronic automation devices.

On the basis of the performed calculations of the efficiency, a conclusion was drawn on the potential for further development of the proposed solution. These calculations show that, given the device's power is 525 Watts and considering that the boiler electrical equipment consumes 250-400 W, the proposed idea has the potential for further development.

Ref. 10, fig. 3.

Keywords — a gas boiler; Stirling's engine; thermoelectric generator

Copyright (c) 2019 Татарніков М. Д., Трояновська П. І., Могильний С. Б.