

УДК 621.4:621.9

В.В. Сергієнко, В.В. Вовк

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

Модуль-генератор на базі термоакустичного резонансного двигуна

Ідея застосування термоакустичного двигуна в якості доповнення до традиційного котла для забезпечення всіх енергетичних потреб домогосподарств не нова, прикладом цього є американський проект NIRVANA [1]. Але при його розробці було допущено ряд концептуальних помилок, через що він не зміг вийти на ринок. Серед них можна виділити нереалістичні характеристики, малі габарити в поєднанні з високими вимогами до деталей і головне - використання в якості палива газу, що є економічно не вигідним. Також є кілька схожих проектів генераторів на двигунах зовнішнього згоряння різних типів. Головний недолік подібних проектів - ці виробництва одиничні, як наслідок - вартість одиниці їх продуктів перевищує вартість десяти, а то і більше аналогічних, виготовлених серійним методом, з залученням іноземних виробничих потужностей та грамотно організованої логістики.

67

Розвиток термоакустики є доволі перспективним напрямком, оскільки ця технологія має значну кількість переваг, основні з яких - ефективність, що може досягати 50% ефективності циклу Карно [2], та можливість працювати на низькопотенційних джерелах тепла. Оскільки технологія доволі “молода”, вона ще не має поширеного застосування в повсякденному житті, проте поступово набуває все більш практичного застосування в космічній галузі, в побутових приладах, оскільки холодильники, які працюють безшумно і [3] мають термін служби понад 10 років, не потребують фреону і тим сприяють збереженню екології, не можуть бути не популярними.

З іншого боку застосування зворотного ефекту такого широкого розповсюдження не набуло. Причин тому може бути багато, але з того моменту, як Aster Thermoacoustics в 2014 році запропонували використовувати двонаправлену турбіну замість лінійних альтернаторів [4], цей напрям став значно ефективніше розвиватися, оскільки використання турбіни зменшило вагу, вартість і габарити установок, натомість значно збільшило їх ККД.

Робота спрямована на створення проекту та виробництва газогенераторних твердопаливних котлів, обладнаних модулем генератора на базі термоакустичного резонансного двигуна. При спрямуванні на реалізацію масового виробництва таких котлів, собівартість котла збільшиться лише на 10-20% порівняно з аналогічними, не обладнаним подібним модулем. Проте при цьому котел стане повністю автономним (такий тип котлів потребує електричної енергії для штучної продувки, живлення автоматики та циркуляційних насосів) і, крім того, зможе забезпечити також і потребу в електроенергії середньостатистичного українського домогосподарства. Така енергетична незалежність приватних господарств в осінньо-зимній період може доповнюватись сонячною енергетикою влітку.

З точки зору теорії: термоакустичний двигун з мандрівною хвилею - це тепловий двигун, що перетворює теплову енергію в акустичну енергію. В термоакустичному двигуні мандрівна хвиля рухається по закільцьованому резонатору. При цьому довжина хвилі рівна довжині резонатора. Перенесення енергії відбувається в напрямку руху хвилі.

Варто розуміти що в реальних термоакустичних приладах не може бути суто стоячої чи суто мандрівної хвилі, натомість отримується щось, що виявляє ознаки їх обох. А класифікувати хвилю як ту чи іншу можна за тим, ознаки ж якої хвилі переважають.

Робоча частина двигуна містить як мінімум два теплообмінника (гарячий та холодний), пристрій для сприйняття акустичної енергії, наприклад лінійний альтернатор чи турбіна, регенератор. Під час частини термодинамічного циклу регенератор поглинає тепло і вивільняє це тепло протягом іншої частини циклу. При робочій частоті 50 Гц доступний час для повного циклу складає всього 0,02 секунди. Це тимчасове зберігання дозволяє велику різницю температур між обома теплообмінниками. Низька теплопровідність через регенератор є необхідною умовою забезпечення прийняттого рівня теплових втрат та забезпечення роботоздатності впринципі. Крім того, опір потоку слід мінімізувати для уникнення надмірного послаблення хвиль. Характерним параметром регенератора є теплова постійна часу - це час, необхідний газу для нагрівання до температури регенератора. Якщо цей час набагато менший за час повного циклу, термодинамічний процес стає майже оборотним, що є необхідною умовою високої ефективності [1].

В ході роботи проводилась значна кількість розрахунків як вручну, так і в САЕ системах. Основним програмним забезпеченням для цього були Autodesk Inventor + CFD module, ANSYS Analysis Systems, DeltaEC. Розрахункові характеристики модуля-генератора наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Розрахункові характеристики модуля-генератора

Робочий газ	Аргон
Тиск в двигуні, МПа	1.5
Температура холодного теплообмінника, К	335
Температура гарячого теплообмінника, К	525-555
Діаметр ступені, мм	114
Теплова потужність охолодження двигуна, Вт	1204
Теплова потужність нагріву двигуна, Вт	1936
Розрахункова вихідна електрична потужність, Вт	578
Електричний ККД, %	29,85

Конструктивно цей котел (рис. 1) може бути реалізований наступним чином: в бункер 2 котла 1 подається тверде паливо, яке за умови нестачі кисню газифікується і остаточно спалюється в камері 3. Розігрітий до температури близько 600 градусів Цельсія газ проходить крізь корпус первинного теплообмінника 4, нагріваючи робочу рідину в спіральному теплообміннику 5. При цьому газ втрачає частину тепла, після чого потрапляє у вторинний теплообмінник 6, де остаточно охолоджується. Забезпечує відведення газу турбінний насос 7, що створює тиск близько 25 Па. Робоча рідина з теплообмінника 5 потрапляє в магістраль 8, що має забезпечуватися конвекційним рухом рідини. Холодна вода підводиться до кожуху охолодження котла крізь вхідну трубу 9, відводиться ж крізь вихідну трубу 10. До них під'єднані виходи холодних теплообмінників 11 ступеней двигуна. В ступенях 12 за описаним вище принципом виникають акустичні хвилі, резонансна частота яких відповідає довжині резонатора 13. Акустична енергія перетворюється в електричну за допомогою двонаправлених турбін 14.

Робоча частина термоакустичного двигуна представлена на рис. 2. Прокладки, ущільнювачі, теплоізоляція на рисунку не відображені.

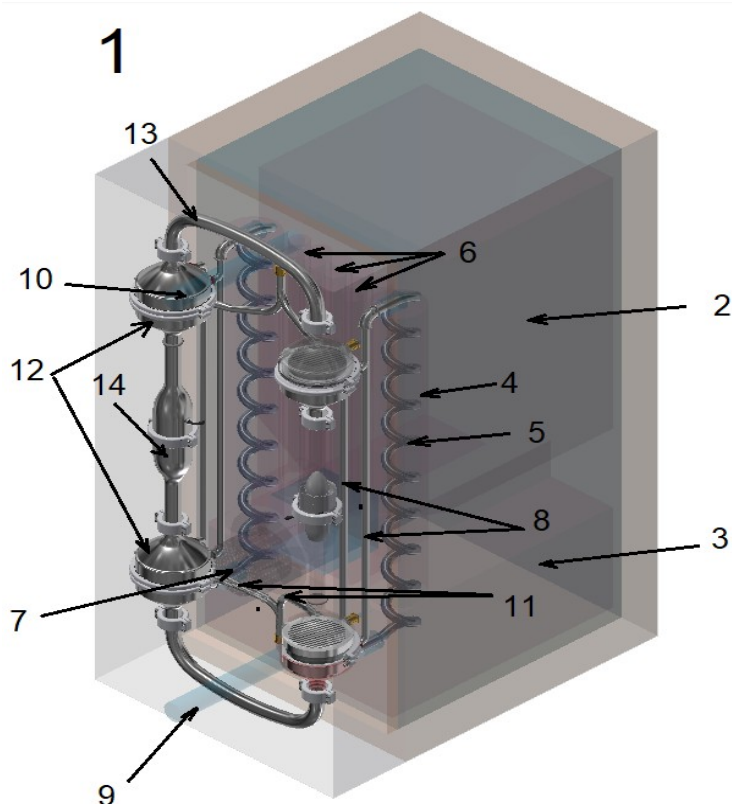


Рис. 1. Будова газогенераторного котла з термоакустичним модулем-генератором (1 – котел, 2 – бункер, 3 – камера згоряння, 4 – первинний теплообмінник, 5 – спіральний теплообмінник, 6 – вторинний теплообмінник, 7 – турбінний насос, 8 – магістраль, 9 – вхідна труба, 10 – вихідна труба, 11 – виходи холодних теплообмінників, 12 – ступені генератора, 13 – резонатор, 14 – двонаправлена турбіна)

70

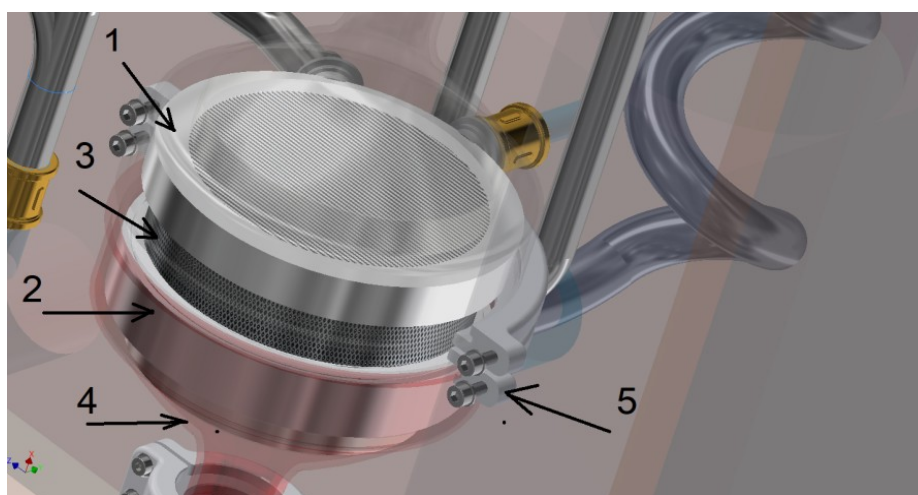


Рис. 2. Одна зі ступеней генератора
(1 - холодний теплообмінник, 2 - гарячий теплообмінник, 3 – регенератор, 4 - корпус; 5 - затискний хомут системи “Грув-лок”)

Для перетворення акустичної енергії в механічну застосовується двонаправлена турбіна (рис. 3). Її конструкція складається зі статора 1; турбіни з дугоподібними лопатками 2; протилежно направлено статора 3 з кріпленням для обтікача генератора.

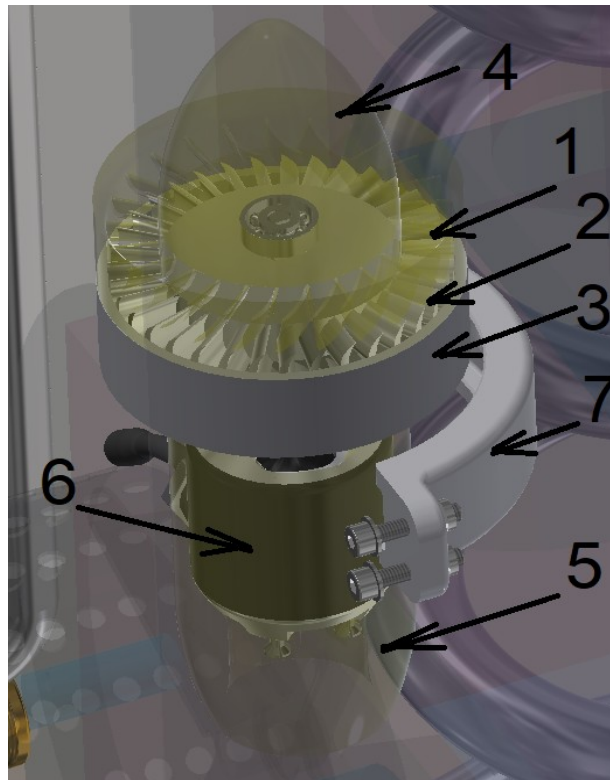


Рис. 3. Конструкція двонаправленої турбіни

(1 – статор №1; 2 - турбіна; 3 – статор №2; 4 - “передній” обтікач; 5 - “задній” обтікач, 6 - генератор; 7 - хомут-зажим системи “Грув-лок”.)

“Передній” обтікач 4 допомагає перерозподілити потік для забезпечення необхідної динамічної в'язкості потоку на турбіні. “Задній” обтікач 5 виконує ту ж функцію, що і передній, але має таку конструкцію, що дозволяє пропускати частину потоку через обмотки генератора 6 для його охолодження; кріплення виконано хомутом-зажимом 7 системи “Грув-лок”.

Висновки:

Практичною реалізацією створеного проекту буде котел, визначальними характеристиками якого є: забезпечення всіх енергетичних потреб домогосподарства; зменшення потреби в його обслуговуванні, порівняно з іншими котлами; ККД цього котла вищий за звичайні твердопаливні котли, і

крім того є можливість використання двигуна або в ролі суто теплового насосу. Можливо комбінувати в ньому властивості теплового насосу і генератора електричного струму, “перемістивши” один з контурів нагріву робочої рідини пари “гарячих” теплообмінників в димар, що дозволить збільшити ККД всього котла ще на кілька відсотків. Автономність роботи обмежується лише об’ємом бункера для пелет, при цьому з точки зору екологічності він є “zero emission”, позбавляє від певних втрат тепла в тепломережах і електроенергії на лініях електропередачі, процес спалювання пелет більш оптимізований, штучна тяга дозволяє встановлювати додаткові фільтри та каталізатори в разі необхідності додаткового зменшення викидів.

Список використаних джерел:

1. Nirvana's Home Energy System [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://nirvana-es.com/index.html>
2. Swift G.W. Thermoacoustic engines and refrigerators: a short course – Los Alamos: Los Alamos National Laboratory, 1999. – 179 с.
3. Design Of A High Efficiency Power Source (HEPS) Based On Thermoacoustic Technology/.. - Michael Petach , Emanuel Tward - Northrop Grumman Space and Technology, and Scott Backhaus - Los Alamos National Laboratory./.. - 2004 - 40 p.
4. Aster Thermoacoustics - Principle [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.aster-thermoacoustics.com/?page_id=141&fbclid=IwAR0SkMI9M3gIKPb__6Did2zM7Qni5B0BEdvSCumHzcgxKoj6V02Mh9arV1w.