

## УДОСКОНАЛЕННЯ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ДВИГУНА СТІРЛІНГА РОТОРНОГО ТИПУ

*Рижова В.Ю.,*

*Миколаївський політехнічний інститут*

*Запропонована вдосконалена схема двигуна Стірлінга роторного типу. Наведено принцип роботи двигуна, при якому збільшуються потужність і коефіцієнт корисної дії, а масо-габаритні показники зменшуються.*

*Ключові слова: двигун Стірлінга, коефіцієнт корисної дії, потужність, матеріаломісткість, робоче тіло двигуна.*

**Постановка проблеми.** При виникненні можливостей використання двигуна Стірлінга встають проблеми, пов'язані з його матеріаломісткістю, малою потужністю та невеликим коефіцієнтом корисної дії (ККД). Ці проблеми слід вирішувати шляхом удосконалення схеми двигуна роторного типу, що дозволить збільшити ККД і потужність. Ефективних технічних рішень з принципів схем на сьогодні не розроблено.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В двигун Стірлінга, розроблений ще у 1816 році шотландцем Робертом Стірлінгом [1], постійно вносяться інноваційні рішення для поліпшення його експлуатаційних характеристик. У 1937 - 1938 рр. фірма «Філіпс» вносить нові розробки з замкнутим циклом, який працює на підігрітому повітрі та призначений для електрогенераторів малої потужності [2]. У 1953 р. Мейер винайшов ромбічний привід, що дозволило використовувати більш високий робочий тиск [3]. У 1964 р. на автомобілі марки «Кал вер» був випробуваний двигун Стірлінга потужністю 23 кВт, тепла енергія для якого поступала від теплового акумулятора енергії на основі окислу алюмінію [4]. В кінці 1972 р. були досягнуті значні успіхи в розробці двигуна Стірлінга, що працює на рідкому природному паливі з призначенням для використання на легкових та вантажних автомобілях. У Росії, на основі двигуна Стірлінга потужністю 10 кВт та 36-лепесткового сонячного концентратора діаметром 10 м, розроблена сонячна енергетична установка для міжпланетної космічної станції «Альфа» [5]. Науковим інститутом «Архімед» ведуться дослідно-конструкторські роботи з спрощення та зниження вартості виробництва двигунів. У 2000-2001 роках фірмою «Міцубіші дзюкоге» на кораблебудівній верфі «Кобе» проведено роботи з оснащення підводного човна «Асасіо» енергетичною установкою замкнутого циклу з двигуном Стірлінга [6]. Дослідні зразки двигунів Стірлінга провідних зарубіжних фірм хоч і працездатні, але вони займають весь підкапотний простір моторного відсіку легкового автомобіля і важчі ДВС в 2 рази. Значна кількість пропозицій з модернізації двигуна Стірлінга, питання щодо його удосконалення для зменшення масо-габаритних розмірів, підвищення ККД та потужності до

останнього часу не вирішені і не вирішують існуючі проблеми. Тому ці дослідження є актуальними, що підтверджується спільним наказом Міністерства освіти і науки та Національної академії наук України від 26 листопада 2009 р. № 1066 «Про затвердження Основних наукових напрямів та найважливіших проблем фундаментальних досліджень у галузі природничих, технічних і гуманітарних наук на 2009-2013 роки», (пункт 1.6. Фізико-технічні проблеми матеріалознавства; пункт 1.3.3.1. Динаміка, стійкість і оптимізація взаємодіючих дискретно-континуальних механічних систем).

**Мета статті.** Висвітлення принципів рішень з удосконалення схеми двигуна Стірлінга, які підвищують ККД та потужність за рахунок вирішення ряду складних задач технічного характеру.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для виконання поставленої мети було проведено аналітичне дослідження, вирішені задача забезпечення герметичності двигуна за рахунок спеціального введення обертання та проблема матеріаломісткості виключенням кривошипно-шатунного механізму (так як двигун роторний). На рис. 1 наведена схема роторного двигуна без клапанів та поршнів, принцип роботи якого складається з низки термодинамічних процесів.

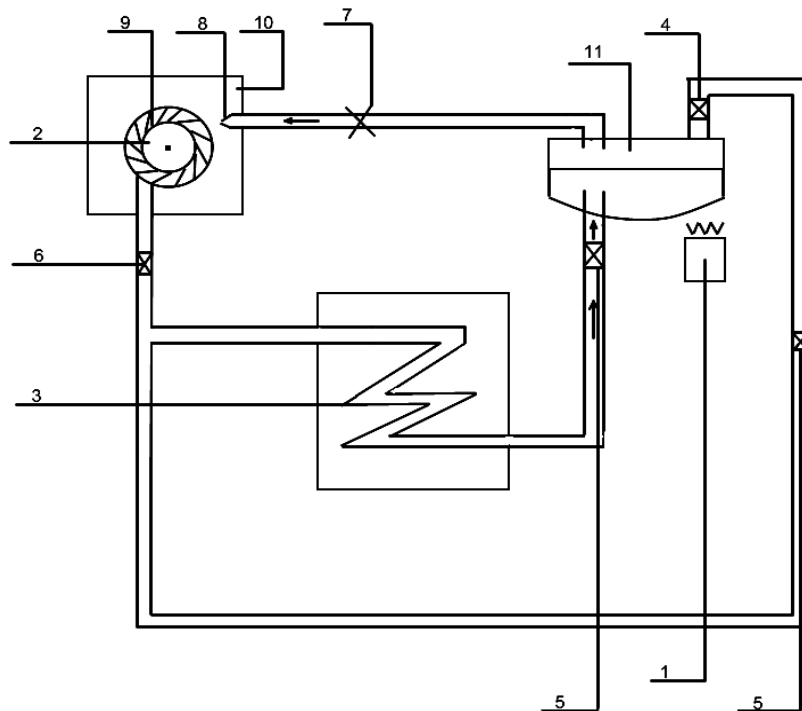


Рисунок 1 – Схема роторного двигуна без клапанів і поршнів:

1 – топка; 2 – турбіна; 3 – радіатор; 4 – перепускний клапан; 5, 6 – зворотний клапан; 7 – дросельна заслінка; 8 – сопла; 9 – лопатки турбіни; 10 – корпус; 11 – балон з робочим газом

При роботі двигуна нагрів робочого газу створює робочий тиск в балоні (11), при надмірному тиску спрацьовує перепускний клапан (4) і газ йде через зворотні клапани (5,6) на радіатор (3). Охолоджуючись, газ йде в балон (11). Для запуску двигуна відкривається дросельна заслінка (7), яка дає подачу газу через сопла (8) на лопатки турбіни (9), що приводить до обертання турбіни (2). Відпрацьований газ проходить через зворотний клапан (5,6) на радіатор (3). Охолоджуючись в радіаторі, відпрацьований газ поступає в робочий балон (11). Тиск в балоні знижується до робочого. Перепускний клапан (4) закривається, газ повністю працює на обертанні турбіни.

У запропонованій конструкції циліндри абсолютно герметичні, завдяки чому досягається запобігання витокам робочого тіла і підвищується ККД двигуна. Відпадає необхідність підживлення робочим тілом, тобто двигун спрощується в експлуатації і може працювати роками без присутності обслуговуючого персоналу.

Розглянутий двигун можна виконати з навантаженням на колінчастий вал, а не на систему шестерінок, шатунів і важелів, як це завжди робилося. А це вже серце для автомобільного двигуна. Двигун здатний працювати і при малих ступенях стиснення, створює менше шуму і вібрацій, простіший в експлуатації і виготовленні, пожежо- і вибухобезпечний, має колосальний, практично безмежний ресурс роботи. Нова конструкція забезпечує демпфування ударних навантажень. Основна перевага розробленої конструкції – це високий ККД. Підвищення ККД, в свою чергу, зменшує емісію токсичних продуктів (оксидів азоту і вуглецю) на одиницю потужності.

Розраховане значення ККД майже удвічі перевищує ККД двигуна внутрішнього згорання. Конструкція двигуна виконується компактно, що є найважливішою умовою його встановлення на автомобіль. Такий роторний двигун Стірлінга без клапанів і поршнів має вигідні експлуатаційні показники.

Запропонована схема дозволяє підвищити потужність і швидкість обертання колінчастого валу, надійність двигуна за рахунок зменшення градієнта температур по довжині циліндра і робочого поршня, зменшення витоків через ущільнення між порожнинами циліндрів і повної ліквідації зовнішніх витоків робочого тіла.

Перспективним також є використання двигуна для виробництва електроенергії на місцевій сировині у віддалених районах або як резервні станції в лікарнях, радіо- і телецентрах, в аеропортах і військових об'єктах. Показана доцільність їх експлуатації у медичній практиці, у системах механічного приводу апаратів «штучне серце», на автотранспорті, у складі криогенних газових машин, у рефрижераторних установках, на морських суднах.

Властивості ДС визначені притаманною тільки йому характеристикою робочих циклів. Двигун працює за замкнутим термодинамічним циклом, в якому циклічні процеси стиснення і розширення відбуваються при різних рівнях температур, а управління потоком робочого тіла здійснюється шляхом зміни його об'єму. В роботі двигуна мають місце: високі значення середнього тиску газу, вільний від масла робочий простір, відсутність клапанного механізму, а передача тепла проводиться через стінки циліндра або теплообмінник.

В двигуні використовується цикл Стірлінга, який з термодинамічною ефективністю не поступається циклу Карно, і навіть має перевагу, так як складається з ізотерм і адіабат, які мало відрізняються між собою [3]. Практична реалізація цього циклу малоперспективна. Цикл Стірлінга складається з чотирьох фаз і розділений двома перехідними фазами: нагрів, розширення, перехід до джерела холоду, охолодження, стиснення і перехід до джерела тепла. На рис. 2. наведена діаграма «тиск-об'єм», що ідеалізує цикл Стірлінга.

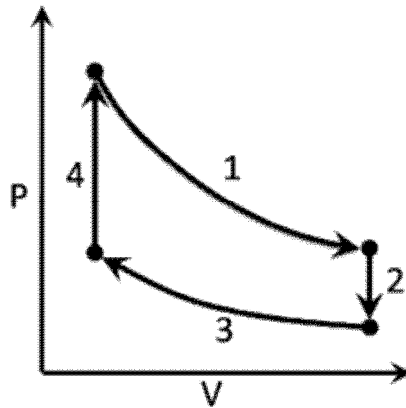


Рисунок 2 – Діаграма «тиск-об'єм», що ідеалізує цикл Стірлінга

Таким чином, при переході від теплового джерела до холодного відбувається розширення і стиснення газу, що знаходиться в циліндрі. При цьому змінюється тиск, за рахунок чого можна одержати корисну роботу. Нагрів і охолодження робочого тіла (ділянки 4 і 2) проводиться рекуператором. В ідеалі кількість тепла, що віддається і відбирається рекуператором, однакова. Корисна робота проводиться тільки за рахунок ізотерм, тобто залежить від різниці температур нагрівача і охолоджувача, як в циклі Карно.

Цикл Стірлінга дозволив одержати працюючий двигун із значним зменшенням масо-габаритних показників.

З розрахунку на один моль робочого тіла тепло, підведене за цикл від нагрівача, визначається виразом

$$Q_{1-2} = RT_1 \ln(V_2/V_1),$$

де  $R$  – універсальна газова постійна,  $V_1$  – початковий об'єм речовини,  $V_2$  – отриманий об'єм речовини.

У ізохорному процесі (2-3) такого циклу тепло відводиться від робочого тіла безпосередньо до холодильника, а в процесі 4-1 – підводиться від нагрівача. ККД такого циклу визначатиметься виразом

$$\eta = \frac{Q_{1-2} - Q_{3-4}}{Q_{1-2} + Q_{4-1}}$$

Неважко побачити, що цей вираз при ненульовому  $Q_{4-1}$  і при тих же значеннях  $Q_{1-2}$  і  $Q_{3-4}$ , що і в циклі з регенератором, має меншу величину. Пройдений у зворотному напрямі (4-3-2-1-4) цикл Стірлінга описує холодильну машину. При цьому напрями передачі тепла,  $Q_{4-3}$ ,  $Q_{3-2}$ ,  $Q_{2-1}$  і  $Q_{1-4}$  міняються на протилежні [4]. Наявність регенератора є необхідною умовою здійснення холодильного циклу Стірлінга, оскільки згідно другому початку термодинаміки в ізохорному процесі (3-2) неможливо нагріти робоче тіло від холодильника, що має нижчу температуру, або передати тепло в процесі (1-4) від робочого тіла нагрівачу, що має вищу температуру.

При цьому двигун є перетворювачем енергії, що відноситься до типу теплових двигунів, які здійснюють механічну роботу на вихідному валу при підводі до них теплової енергії. Корисна робота в робочому циклі Стірлінга здійснюється, як і в інших теплових двигунах, через стиснення робочого тіла (гелій, водень) при низькій температурі і розширенні того ж робочого тіла після нагріву при вищій температурі [5].

### Висновки

1. Вдосконалена схема двигуна Стірлінга, в якій відсутні клапани та поршні, дозволяє збільшити потужність та швидкість обертання колінчастого валу.

2. Запропоновано технічні рішення: підвищують надійність двигуна за рахунок зменшення градієнту температур по довжині циліндру; зменшують витоки через ущільнення між порожнинами циліндрів та повністю ліквідують зовнішні витоки робочого тіла; за рахунок спрощення конструкції зменшують матеріаломісткість двигуна; збільшують термін служби двигуна за рахунок запобігання витоків робочого тіла та підвищення ККД.

3. Результати дослідження підтверджують ефективність запропонованої принципової схеми і показують доцільність експлуатації двигуна в широкому спектрі технологій реального сектора виробництва.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ридер Г. Двигатели Стирлинга / Г. Ридер, Ч. Хупер : [пер. с англ.]. – М. : Мир, 1986. – 367 с.
2. Уокер Г. Машины, работающие по циклу Стирлинга : [пер. с англ.]. – М. : Энергия, 1978. – 452 с.

3. Уокер Г. Двигатели Стирлинга : [пер. с англ.]. – М. : Машиностроение, 1985. – 285 с.
4. Бродянский В. М. Двигатели Стирлинга / В. М. Бродянский – М. : Мир, 1975. – 423 с.
5. Круглова М. Г. Двигатели Стирлинга / М. Г. Круглова, В. Н. Даниличев, С. И. Ефимов. – М. : Машиностроение, 1977. – 370 с.
6. Патент РФ № 2099564, F 02 G 5/00. – Бюл. № 35 от 20.12.97.
7. Заявка ЕПВ № 0457399 // Реферативный журнал «Изобретение стран мира» – Выпуск В - 65, № 5, 1993. – С. 13.

**Рыжова В.Ю. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ ДВИГАТЕЛЯ СТИРЛИНГА РОТОРНОГО ТИПА**

*Предложена усовершенствованная схема двигателя Стирлинга роторного типа. Приведён принцип работы двигателя, при котором увеличиваются мощность и коэффициент полезного действия, а массогабаритные показатели уменьшаются. Ключевые слова: двигатель Стирлинга, коэффициент полезного действия, мощность, материалоемкость, рабочее тело двигателя.*

**Ryzhova V.U. IMPROVEMENT OF THE PRINCIPAL DIAGRAM OF ROTARY TYPE STIRLING ENGINE**

*The improved diagram of rotary type Stirling engine is proposed. The principle of engine operation to increase the capacity and efficiency and to decrease the overall indices is given. Keywords: Stirling engine, efficiency, capacity, materials consumption, engine working medium.*