

УДК 621.01

DOI 10.31891/2307-5732-2020-285-3-18

М. М. КОСІЮК, А. М. КОСІЮК

Хмельницький національний університет

РОТОРНО-ЛОПАТЕВА МАШИНА

У роботі розглянуто питання отримання механічного руху в тепловій машині. Розроблено роторно-лопатеву машину (РЛМ), що використовує спільно два принципи: роторно-лопатеву конструкцію і зовнішнє підведення теплоти. При додатковому оснащенні вона суттєво розширює свої функціональні можливості, зокрема, як парова роторно-лопатєва машина, або роторно-лопатєва машини, яка працює за замкненим термодинамічним циклом Стірлінга. Завдяки своїй компактності, врівноваженості, максимальному літражу при обмежених розмірах корпусу і високому тепловому коефіцієнту корисної дії РЛМ може знайти широке застосування у різних галузях, де потрібні потужні і економічні силові агрегати невеликих розмірів, а також може використовуватися в енергетичних установках малої потужності для автономного вироблення теплової та електричної енергії.

Ключові слова: тепловий двигун, силовий агрегат, роторно-лопатєва машина, лопать, ротор.

M. KOSIYUK, A. KOSIYUK

Khmelnitskyi National University

ROTOR-BLADE MACHINE

The world's leading engine companies carry out research and development work aimed at improving the efficiency of heat engines, their reliability and durability, reducing weight and size, improving environmental performance, reducing fuel consumption and more. In the research of many companies, attempts are being made to fundamentally change the process of converting thermal energy into mechanical work. The use of rotor-blade engine design is one of the important areas of the process of improving heat engines. This gives a significant advantage over reciprocating engines in terms of specific dimensions and power, as well as resource. The second promising area of development of heat engines is the use of external heat supply, which eliminates a number of fundamental problems present in internal combustion engines. Obtaining mechanical motion in a heat engine, which shares two principles: rotor-blade design and external heat supply - is an extremely important scientific and technical direction.

The paper considers the issue of obtaining mechanical motion in a heat engine. A rotor-blade machine has been developed, which jointly uses two principles: a rotor-blade construction and external heat supply. With additional equipment, it significantly expands its functionality, in particular, as a steam rotary-vane machine, or a rotary-vane machine that operates on a closed thermodynamic Stirling cycle. The steam generator of the rotor-blade machine is made in the form of a three-dimensional cavity. Pressurized water is injected into the internal cavity, the wall temperature of which is maintained by a high-temperature torch formed by a special burner device equipped with modules for preparation and supply of fuel, hot air and superheated water vapor to the combustion zone. Due to its compactness, balance, maximum capacity with limited body size and high thermal efficiency of the rotary blade machine can be widely used in various industries where powerful and economical power units of small size are required, and can also be used in low-power power plants. autonomous generation of heat and electricity.

Keywords: heat engine, power unit, rotor-blade machine, blade, rotor.

Вступ. Провідні двигунобудівні фірми світу проводять науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи спрямовані на підвищення ефективності теплових двигунів, їх надійності і довговічності, зменшення ваги і габаритів, поліпшення екологічних показників, зниження витрати палива тощо. У дослідженнях багатьох фірм робляться спроби принципової зміни процесу перетворення теплової енергії в механічну роботу. Використання роторно-лопатєвої конструкції двигуна є одним з важливих напрямів процесу вдосконалення теплових машин. Це дає значну перевагу перед шатунно-поршневими двигунами за питомими габаритними і потужнісними показниками, а також ресурсу. Другим перспективним напрямом розвитку теплових двигунів є використання зовнішнього підведення теплоти, що дозволяє виключити ряд принципових проблем наявних у двигунах внутрішнього згорання. Отримання механічного руху в тепловій машині, що використовує спільно два принципи: роторно-лопатєву конструкцію і зовнішнє підведення теплоти, – є надзвичайно актуальним науково-технічним напрямком.

Аналіз останніх досліджень чи публікацій. Двигуни внутрішнього згорання (ДВЗ) знайшли надзвичайно широке застосування, але найбільше, як двигуни для транспортних засобів. Перелік конструкцій ДВЗ досить широкий, але в експлуатації найбільше поширення набули кривошипно-шатунні поршневі дизельні і карбюраторні двигуни. Дані машини найбільш розповсюджені. Вони мають гарні умови для ущільнень камер стискування і для охолодження, достатньо відпрацьовану технологію виготовлення і задовільний ресурс. Незважаючи на це, зазначені двигуни мають велику кількість недоліків. На даний час поршневі двигуни досягли піку свого розвитку, досягли межі економічності і багато спеціалістів вважають їх морально застарілими [1].

Більш перспективними є роторні двигуни. Найбільш відоме рішення для роторних ДВЗ – двигун Ванкеля [2]. Перевагами цієї конструкції є відсутність необхідності у перетворенні зворотно-поступального руху в обертальний, істотне зниження маси рухомих частин за рахунок виключення з конструкції колінчастого вала і шатунів, низький рівень вібрацій, широкий діапазон робочих чисел оборотів двигуна і конструктивна простота, а як наслідок – високі динамічні характеристики, питома потужність і менші габаритні розміри. Маса і габарити двигуна Ванкеля в 2–3 рази менше відповідних їм за потужністю існуючих ДВЗ. Недоліками названої конструкції є складна форма конструкції корпусу, ротора і його приводу, а також низький ресурс механічних ущільнень.

Альтернативною схемою є конструкції роторно-лопатевого двигунів. Зазвичай вони містять порожнистий корпус, в якому на співвісних валах розташовані два дволопатевого ротори, що поділяють порожнину корпусу на камери змінного об'єму і механізм зв'язку лопатей [3, 4].

Основна складність роторно-лопатевого двигуна полягає в тому, що для нього необхідний простий надійний і довговічний механізм зв'язку лопатей, що забезпечує необхідний рух однієї лопаті відносно іншої. Проте простота компоновки РЛД дозволяє сподіватися на досягнення при подальшому конструкторському опрацюванні високих значень основних показників, що пред'являються до двигунів, головними з яких є економічність, надійність, ресурс, матеріаломісткість, доступність виготовлення і простота обслуговування, екологічність, досить високий ККД, конструкторська і технологічна спадкоємність, ступінь їх стандартизації та уніфікації.

В останні роки значно збільшується інтерес до двигунів із зовнішнім підведенням теплоти, що пов'язано з можливістю перетворення в цих двигунах в енергію будь-якого виду теплоти і низьким рівнем токсичності, що значно розширює сферу їх застосування у порівнянні з найбільш поширеними в даний час ДВЗ [5]. Актуальним завданням є створення високоефективних силових агрегатів на базі парових роторно-лопатевого двигунів машин об'ємної дії або двигунів з іншим робочим тілом у приводах різних механізмів, зокрема для приводу електрогенераторів мікро- і мініелектростанцій.

Мета роботи – розробка простої за конструкцією, надійної РЛМ із зовнішнім підведенням тепла з великим терміном служби, зручною компоновкою і розширеними функціональними можливостями.

Виклад основного матеріалу. Авторами розроблена РЛМ, будова і принцип роботи, якої схематично показані на рис. 1.

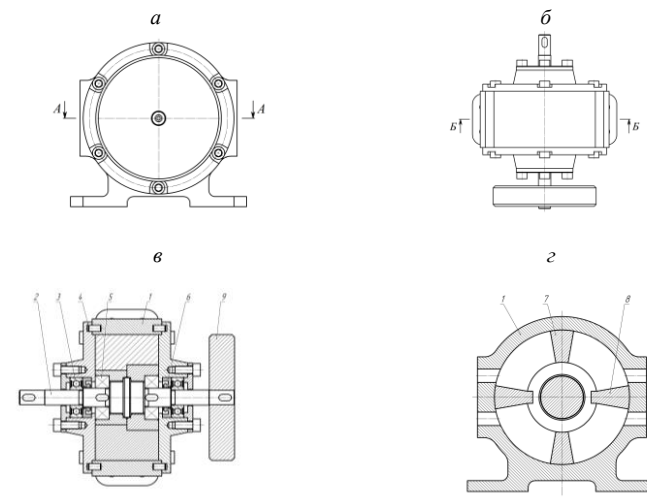


Рис. 1. Конструктивна схема роторно-лопатевої машина:

a – вид спереду; *б* – вид зверху; *в* – розріз А-А; *г* – переріз Б-Б;

1 – корпус з каналами підведення і відведення робочого тіла; 2 – ротор; 3 – підшипник; 4 – торцева кришка; 5 – одностороння обгінна муфта; 6 – ущільнення; 7 – двостулковий лопатевого елемент; 8 – двостулковий лопатевого елемент; 9 – маховик

Герметизація робочих порожнин РЛМ забезпечується за рахунок точності виготовлення деталей і установки лабіринтових або інших ущільнень.

Працює РЛМ таким чином. Відповідно до алгоритму роботи машини робоче тіло, наприклад, повітря, що знаходиться під тиском, подається через канали підведення у робочі порожнини, які утворюються корпусом 1, торцевими кришками 4 і двостулковими лопатевоими елементами 7 і 8. Під дією робочого тіла лопатевоі елементи 7 і 8 за допомогою односторонніх обгінних муфт 5 поперемінно передають крутний момент ротору 2, співвісно встановленому на підшипниках 3 в кришках 4. Для уникнення зворотного обертання ротора 2 і забезпечення плавного обертання відносно корпусу 1, його оснащують маховиком 9. Конструктивно лопатевоі елементи 7 і 8 виконані з можливістю уникнення ударних навантажень і забезпечення гарантованого зазору між ними в крайніх положеннях для забезпечення ефективної дії на них робочого тіла (рис. 2). Стиснене повітря, яке передало свою енергію ротору, через канали в корпусі відводиться в навколишнє середовище.

РЛМ компактна, має просте компоновання і малу кількість деталей. Всі обертові деталі прекрасно врівноважені і мають великий ресурс роботи. Суттєвою перевагою запропонованої РЛМ є відсутність в конструкції складного механізму узгодження руху лопатей.

При додатковому оснащенні, РЛМ суттєво розширює свої функціональні можливості, зокрема, як паровий двигун. Відомий спосіб спалювання різних видів палива (твердого, рідкого, газоподібного) з подачею в зону горіння перегрітої водяної пари. Це забезпечує парову газифікацію продуктів термічного розкладання і неповного згоряння палива з утворенням водяного газу. Причому, чим вища температура розігрітого пару, тим слабкіший зв'язок між атомами водню і кисню в молекулах води і тим активніше атоми вуглецю в зоні горіння притягують до себе кисень, формуючи молекули СО у водяному газі. Водяний газ –

газова суміш, склад якої в середньому процентному співвідношенні становить: CO – 44 %, N₂ – 6 %, CO₂ – 5 %, H₂ – 45 %. Водяний газ прекрасно горить. Це суттєво підвищує температуру горіння різних видів палива (твердого, рідкого, газоподібного) – кам'яного вугілля, коксу, мазуту, метану і т.д. [6].

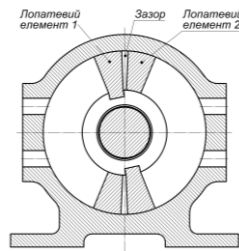


Рис. 2. Схема розміщення лопатевих елементів в їх крайньому положенні

Парогенератор РЛМ виконують у вигляді об'ємної порожнини. У ньому відсутня поверхня кипіння води, яка визначає габарити пристрою. Вода під тиском впорскується у внутрішню порожнину, температура стінок якої підтримується високотемпературним факелом, сформованим спеціальним палинковим пристроєм, оснащеним модулями підготовки і подачі палива, гарячого повітря і перегрітої водяної пари в зону горіння. Що ж стосується теплопровідності металу, з якого виготовляється порожнина парогенератора, то вона збільшується з підвищенням температури. Тому через одну і ту ж поверхню можна передати більшу потужність теплової енергії, що знову ж таки веде до зменшення габаритів пристрою.

Відомо, що вуглець, що міститься в розпечених частинках сажі при температурі 1000–1200 °C забирає атомарний кисень у води, перетворюючись при цьому з твердого тіла в газоподібний за формулою: H₂O + C = CO + H₂. Таким чином, область горіння палива, що містить вуглець який виробляє велику кількість частинок сажі, насичується киснем, віднятим у води і перетворюються в окис вуглецю CO. Крім того, звільняється молекулярний водень, маса якого становить до 6% від маси води, що розкладалася. Теплота згоряння водню в три рази перевищує теплоту згоряння вихідного палива, а наявність в зоні горіння парів води прискорює горіння окису вуглецю. Монооксид вуглецю (чадний газ), що утворився у топці, займається при температурі в 700 °C і горить з температурою, що досягає 2100 °C.

Всі перераховані вище фактори дозволяють спалювати різні види палива (тверді, рідкі, газоподібні) з дуже гарною якістю, що підтверджується експериментами. А головне – при горінні не утворюється сажа та інші шкідливі викиди – всі тверді вуглеводневі частинки газифікуються з утворенням чадного газу і водню. Ті в свою чергу, згораючи, утворюють нешкідливі воду і вуглекислий газ. В результаті викиди при спалюванні з використанням пари не тільки відповідають діючим екологічним нормативам, а й мають в рази нижчі у порівнянні з гранично допустимими концентраціями значення.

На рис. 3 зображені схеми роторно-лопатевої машини із зовнішнім підведенням тепла. Парова роторно-лопатева машина працює таким чином (рис. 3, а). Вода безперервно подається у парогенератор, де вона нагрівається за допомогою спеціального палинкового пристрою (не показано), перетворюючись тим самим у пар. Далі пар по термоізолюваному паропроводу надходить у робочі порожнини машини. Пар, що знаходиться під високим тиском, чинить тиск на суміжні двостулкові лопатеві елементи кожної робочої порожнини. Виникаюча в результаті цього різниця тисків змушує ротор обертатися, завдяки його кінематичному зв'язку через односторонні обгінні муфти з двостулковими лопатевими елементами. При повороті ротора двостулковий лопатевий елемент кожної робочої порожнини переходить точку розташування відповідного елемента відведення пари, внаслідок чого пар з кожної робочої порожнини вільно виходить через елементи відведення. Далі цикл повторюється.

Функціональна можливість РЛМ працювати за замкненим термодинамічним циклом Стірлінга, досягається шляхом додатково її оснащення нагрівачем, рекуператором і холодильником робочого тіла, які з'єднані термоізолюваними каналами з гарячою і холодною порожнинами корпусу роторно-лопатевої машини (рис. 3, б). У каналах можуть бути встановлені рекуператори, які беруть на себе основне теплове навантаження. Корпус машини заповнюється робочим тілом (газом) під початковим надлишковим тиском. У чотирьох робочих камерах одночасно здійснюються такти термодинамічного циклу Стірлінга: впуск, стиснення, підведення тепла, робочий хід, випуск, відведення тепла.

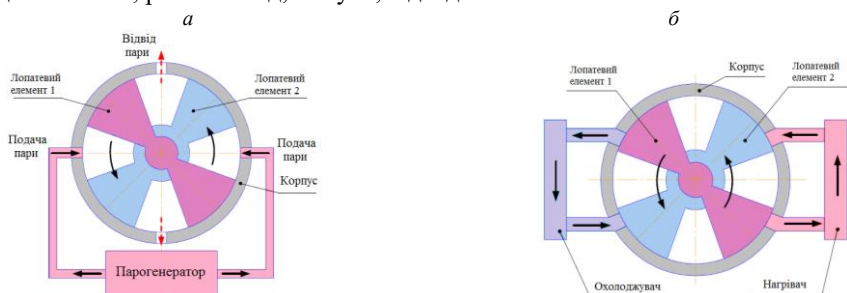


Рис. 3. Схеми роторно-лопатевої машини із зовнішнім підведенням тепла:

а – парова роторно-лопатева машина; б – роторно-лопатева машини, яка працює за замкненим термодинамічним циклом Стірлінга

РЛМ можна виготовляти з використанням відомих у промисловості матеріалів, устаткування та інструментів. Вона має низку переваг перед ДВЗ, а саме: суттєве зменшення шкідливих викидів у атмосферу і економічне використання пального; високий ККД; відсутність вібрацій; ідеальна тягова характеристика і низька вартість; можливість роботи на будь-якому паливі, відходах нафтопереробки і харчової промисловості. Завдяки своїй компактності, врівноваженості, максимальному літражу при обмежених розмірах корпусу і високому тепловому коефіцієнту корисної дії РЛМ може знайти широке застосування в різних галузях, де потрібні потужні і економічні силові агрегати невеликих розмірів.

Висновок. Розроблено РЛМ, яка використовує спільно два принципи: роторно-лопатеву конструкцію і зовнішнє підведення теплоти. При додатковому оснащенні вона суттєво розширює свої функціональні можливості, зокрема, як парова роторно-лопатєва машина, або роторно-лопатєва машини, яка працює за замкненим термодинамічним циклом Стірлінга. РЛМ може знайти широке застосування у різних галузях, де потрібні потужні і економічні силові агрегати невеликих розмірів, а також може використовуватися в енергетичних установках малої потужності для автономного вироблення теплової та електричної енергії.

Література

1. Двигатели внутреннего сгорания : учебник для вузов / под ред В.Н. Луканина и М.Г. Шатрова. – [2-е изд., пере-раб. и доп.]. – М. : Высш. шк., 2005. – 414 с.
2. Злотин Г.Н. Особенности рабочего процесса и пути повышения энергетической эффективности роторно-поршневых двигателей Ванкеля : монография / Г.Н. Злотин, Е.А. Федянов. – Волгоград : Изд-во ВолгГТУ, 2010.
3. Гринёв Д.В. Конструктивные схемы и принципы работы роторно-лопастных машин / Д.В. Гринёв // Вестник Псковского государственного университета. Серия: Экономика. Право. Управление. – 2014. – № 5. – С. 142–150.
4. Отений Я.Н. Роторно-лопастной двигатель с качающимися лопастями / Я.Н. Отений, А.Э. Вирт // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 9. – Часть 3. – С. 449–451.
5. Матрунчик А. С. Использование двигателя внешнего сгорания для выработки электрической энергии / А. С. Матрунчик // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 6 (48). Ч. 2. – С. 108–110.
6. Косіюк М.М. Автономна високоефективна когенераційна установка / М.М. Косіюк, А.М. Косіюк // Вісник Хмельницького національного університету. – 2020. – № 2. – С. 84–88.

References

1. Dvigateli vnutrennego sgoraniya : uchebnik dlya vuzov / pod red V.N. Lukanina i M.G. Shatrova. – [2-e izd., pere-rab. i dop.]. – M. : Vyssh. shk., 2005. – 414 s.
2. Zlotin G.N. Osobennosti rabocheho processa i puti povysheniya energeticheskoy effektivnosti rotorno-porshnevyyh dvigatelej Vankelya : monografiya / G.N. Zlotin, E.A. Fedyanov. – Volgograd : Izd-vo VolgGTU, 2010.
3. Grinyov D.V. Konstruktivnye shemy i principy raboty rotorno-lopastnyh mashin / D.V. Grinyov // Vestnik Pskovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika. Pravo. Upravlenie. – 2014. – № 5. – S. 142–150.
4. Otenij Ya.N. Rotorно-lopastnoj dvigatel s kachayushimisya lopastyami / Ya.N. Otenij, A.E. Virt // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamentalnyh issledovaniy. – 2015. – № 9. – Chast 3. – S. 449–451.
5. Matrunchik A. S. Ispolzovanie dvigatelya vneshnego sgoraniya dlya vyrabotki elektricheskoy energii / A. S. Matrunchik // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. – 2016. – № 6 (48). Chast 2. – S. 108–110.
6. Kosiiuk M.M. Avtonomna vysokoefektyvna koheneratsiina ustanovka / M.M. Kosiiuk, A.M. Kosiiuk // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnogo universytetu. – 2020. – № 2. – S. 84–88.

Надійшла / Paper received: 02.04.2020

Надрукована / Paper Printed : 01.06.2020