

УДК 621.486

Ю. В. СТОРЧЕУС, канд. техн. наук, зав. каф. ДВЗ, СЛУ ім.В.Даля, Луганськ**ВИКОРИСТАННЯ ПРИНЦИПІВ КАСКАДНОГО ЕНЕРГООБМІНУ У
АВТОТРАКТОРНОМУ ДИСКОВОМУ ДВИГУНІ**

Розглянуто особливості конструкції та робочого циклу дискового двигуна каскадного типу. Виявлено основні переваги двигунів на базі каскадних трансформаторів енергії над хвильовими дисковими двигунами. Викладено теоретичні передумови застосування каскадних дискових двигунів у якості автотракторних силових установок. Вироблено рекомендації із розширення галузі застосування каскадних дискових двигунів.

Ключові слова: каскадний дисковий двигун, трансформація енергії, обмінник тиску, теплообмін, реактивний струмінь.

Вступ. Сучасні вимоги до силових агрегатів автотракторних установок насамперед передбачають зниження ваги та габаритів двигуна при одночасному поліпшенні його економічних та екологічних показників. Найбільш розповсюджені на транспорті поршневі ДВЗ практично вичерпали резерв значного поліпшення за вказаними критеріями. Окрім того, наявність великої кількості прецизійних деталей, складність систем та агрегатів негативно впливають на вартість їх виробництва та обслуговування.

Аналіз основних досягнень і літератури. Нові покоління термодинамічних машин широкого призначення використовують хвильові або каскадні обмінники тиску у якості основного або додаткового агрегату стискування повітряного заряду в робочому циклі установки. В обмінниках тиску здійснюється процес перетворення енергії газів, що розширюються у розташовувану енергію стиснутого повітря у процесі безпосереднього контакту між стискуючим та стискуваним середовищами.

Перша успішна спроба використання хвильового обмінника тиску (ХОТ) була здійснена компанією BBC у Швейцарії на газотурбінному двигуні локомотива. На початку 60-х років минулого сторіччя у компанії Ruston-Hornsby було створено та випробувано хвильову роторну турбіну (ХРТ) – двигун нового типу, в дисковому роторі якого спіралеподібні клапани одночасно виконують функцію камери згоряння для суміші повітря та гасу. На початку 2000 років низка відомих дослідницьких центрів, таких як NASA, Rolls-Royce, ABB, та інші поновили інтерес до інтегрування ХОТ різної конфігурації у міні- та мікро- ГТД.

У 2005 році вчені Мічиганського університету на чолі з Н.Мюллером почали розробку нового дискового двигуна на базі ХОТ (рис.1) [1-4]. Безсумнівними перевагами хвильового дискового двигуна (ХДД), у співвідношенні до існуючих теплових двигунів, є компактність та простота. Як заявляють самі вчені [1,4], створюваний ними мотор повинен бути як мінімум в 5 раз більш ефективним, ніж простий ДВЗ, а також на 20% легшим та на 30% дешевшим. До того ж їх хвильовий дисковий двигун теж працює на бензині, що не створить труднощів із впровадженням нової технології.

Автори проекту стверджують [2,3], що демоверсія мотора, який буде збудовано згідно технічних умов забезпечить ККД не нижчий за 30%. Разом з тим реалізація високої економічності ХДД в межах заявленої конструкції здається вельми складним завданням у силу наступних факторів, обумовлених особливостями робочого процесу ХОТ: невисоким ступенем попереднього стиску свіжого заряду (менше 2,5); значними втратами затоплення реактивних струменів внаслідок надкритичних перепадів тиску в

© Ю. В. Сторчеус, 2013

реактивних соплах; недовикористанням радіальної складової швидкості реактивного струменя.

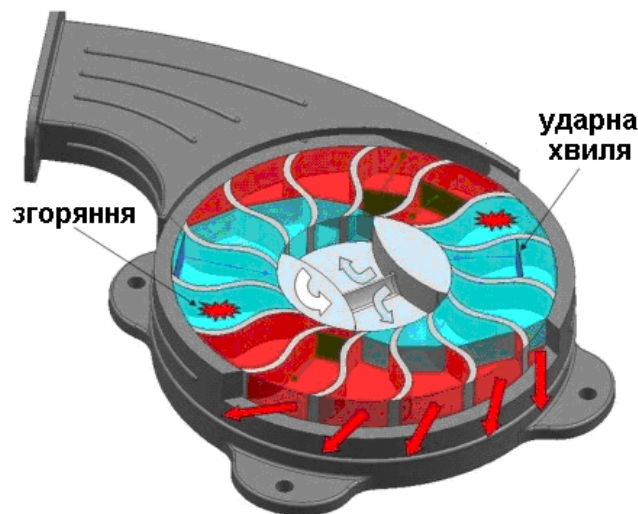


Рисунок 1 – Хвильовий дисковий двигун

Мета дослідження, постановка задачі. Метою дослідження є створення компактного автотракторного дискового двигуна, що працює на принципах каскадно-рекуперативного енергообміну.

Результати досліджень. Суттєве підвищення паливної економічності порівняльно із ХДД має забезпечити каскадний дисковий двигун (КДД) реактивного обертання на базі одного з різновидів каскадних трансформаторів енергії (КТЕ), а саме – каскадного обмінника тиску (КОТ) [5-7]. Висока ефективність та надійність КОТ підтверджена випробуваннями низки дослідних зразків різної розмірності на моторних стендах у лабораторіях кафедри ДВЗ СХУ ім. В. Даля [8-10].

Основна перевага використання КОТ у якості базового агрегату двигуна полягає у можливості підвищення ККД перетворення енергії гарячих газів у розташовувану роботу стиснутого заряду та зниження витрат перетворення енергії продуктів згоряння, що розширюються, у корисну роботу крутного моменту двигуна.

Дисковий двигун (рис. 1) містить статор 1, на внутрішній циліндричній поверхні якого розміщене вікно 2 для відведення газів, а на зовнішній циліндричній поверхні - вікно 3 для підведення паливоповітряної суміші, яке поділене перегородкою 4 на сектор 5, сполучений з каналом 6 для підведення горючої суміші і сектор 7 сполучений з каналом 8 для підведення повітря з атмосфери, ротор 9 з валом 10 відбору потужності, постачений перегородками 11, що утворюють напорообмінні комірки 12 із вхідними 13 і вихідними 14 перетинами, відповідно розташованими на його внутрішній і зовнішній поверхні.

Частину кожної з перегородок 11 з боку зовнішньої циліндричної поверхні ротора 9 поділена на два пелюстки, перший 15 лежить в одній площині з нижньою частиною перегородки 11, інший - 16 загнутий у напрямку, протилежному обертанню ротора 9.

На внутрішній циліндричній поверхні статора 1 по обидві сторони від вікна 2 для відведення газів розміщені ряд вхідних 17 і вихідних 18 вікон, попарно сполучених між собою симетрично відносно вікна 2 для відведення газів за допомогою масообмінних каналів 19, вікна 17, розташовані по одну сторону вікна 2 для відведення газів, охоплюють частину ротора 9 з вигнутими пелюстками 16, вікна 18, розташовані

по іншу сторону вікна 2 для відведення газів принаймні охоплюють частину ротора 9 із плоскими пелюстками 15. На зовнішній циліндричній поверхні статора 1 опозитно вікну 3 для підведення паливоповітряної суміші виконане поглиблення 20 з розміщеним у ньому джерелом запалення суміші 21.

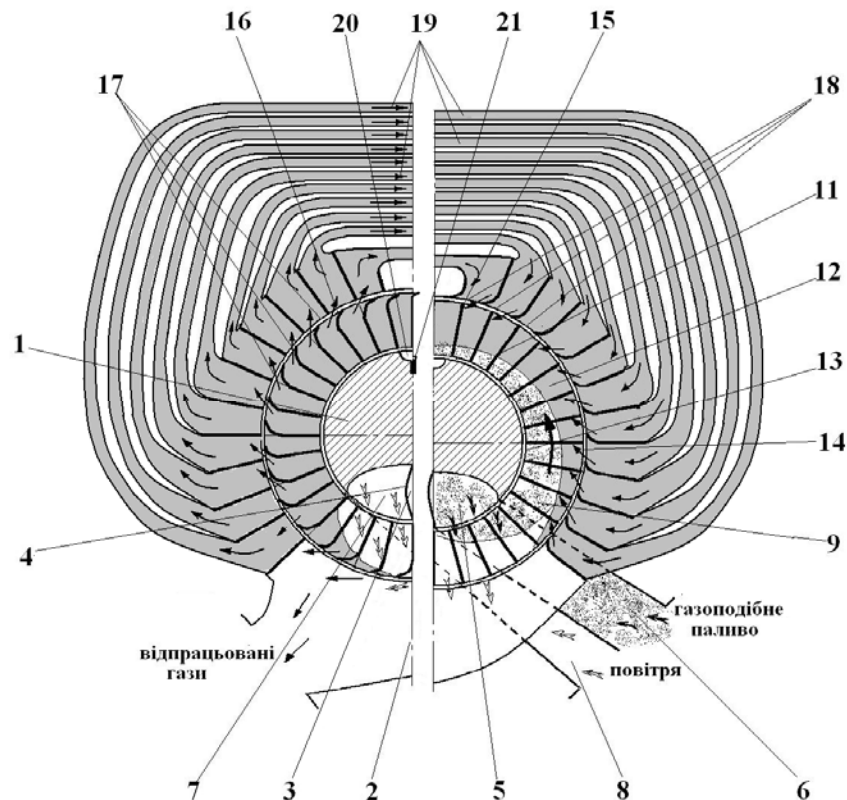


Рисунок 2 – Принципова схема каскадного дискового двигуна

Каскадний дисковий двигун (рис.3) працює наступним чином. При обертанні ротора 9 (рис.4) кожна з напорообмінних комірок 12, укладена між перегородками 11, наповнена попередньо стисненою паливоповітряною сумішшю і стискаючими газами, сполучається з поглибленням статора 1, де в результаті подачі іскри джерелом запалення формується фронт полум'я, що поширюється уздовж комірки 12, у локальній області зосередження горючої суміші.

У результаті вигорання палива тиск і температура газів у комірці 12 підвищуються. У процесі подальшого обертання ротора 9 при сполученні розглянутої комірки 12 із вхідними вікнами 17 гарячі гази, обмиваючи загнуті пелюстки 16 перегородок 11 минають у масообмінні канали 19 під гострим кутом до вектора окружної швидкості, внаслідок чого створюється основний крутний момент двигуна.

По мірі витікання газів у масообмінні канали 19 тиск у комірці 12 зменшується, і у момент, що передуює підключенню комірки 12 до вікна 2 для відведення газів, у ній зберігається деякий залишковий тиск, що перевищує атмосферний. При цьому у кожному масообмінному каналі 19 встановлюється свій надлишковий тиск із максимальним значенням у каналі, розташованим безпосередньо у джерела запалення, і мінімальним - у каналі, розташованим безпосередньо у вікна 2 для відведення газів. Завдяки цьому перепад тисків у вихідному перетині 14 комірки 12 при її сполученні з кожним з масообмінних каналів 19 не перевищує надкритичного (надзвукового) рівня,

що забезпечує зниження втрат затоплення реактивного струменя і, в остаточному підсумку, підвищення ККД двигуна.

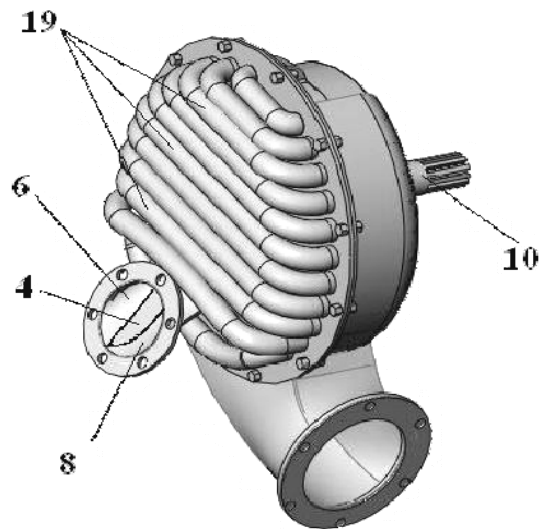


Рисунок 3 – Каскадний дисковий двигун

При сполученні комірки 12 з вікном 2 для відведення газів гарячі гази з надлишковим тиском, обмиваючи пелюстки 16 проходять із вихідних отворів 14 під гострим кутом до атмосфери, внаслідок чого створюється додатковий крутний момент реактивного витікання струменя. У момент, коли тиск у комірці 12 наближається до атмосферного, остання своїм вхідним отвором 13 спочатку сполучається із сектором 7 вікна 3 для підведення паливоповітряної суміші.

Атмосферне повітря під дією розрядження, створюваного відцентровими силами, через канал 8 надходить до комірки 12, заміщаючи відпрацьовані гази, які виходять через вікно 2 для відведення газів. Далі у процесі обертання ротора 9 комірка 12 сполучається із сектором 5, що супроводжується надходженням у комірку 12 горючої суміші через канал 6 для підведення горючої суміші. Завдяки поділу перегородкою 4 потоків свіжого заряду в процесі продування ротора 9 виключається виток горючого середовища крізь вікно 2 для відведення газів, оскільки заміщення відпрацьованих газів у комірці 12 здійснюється безпосередньо атмосферним повітрям, первинна порція якого виконує функції транзитного середовища. Після роз'єднання з вікнами 2 і 3 одна частина обсягу комірки 12 заповнена повітрям, інша, більша, - горючою сумішшю.

У процесі подальшого обертання ротора 9 розглянута комірка 12 своїм вихідним отвором 14 послідовно сполучається з вихідними вікнами 18 масообмінних каналів 19, що охоплюють частину ротора 9 із плоскими пелюстками 15, у результаті чого в неї надходять гази із суміжних відносно кожного з каналів 19 комірок. Тиск і температура газів у комірці 12 підвищуються.

Таким чином, попередній стиск свіжого заряду у комірках здійснюється за рахунок енергії розширення газів у суміжних комірках 12 ротора 9 у процесі прямого каскадного масообміну робочих середовищ у індикаторному циклі двигуна. У момент, що передуює сполученню комірки 12 з поглибленням джерела запалення, більша частина її обсягу заповнена стискаючими газами, у той час як горюча суміш зосереджується у периферійній зоні комірки 12, з боку розміщення джерела запалення. У процесі попереднього стиску робочого тіла горюча суміш у комірці 12 додатково підігрівається

за рахунок контакту зі стискаючим середовищем і теплообміну з перегородками 11. Завдяки цьому, а також локалізації горючого середовища у зоні контакту із джерелом запалення забезпечуються сприятливі умови для своєчасного вигорання палива, у тому числі - збідненого природного газу (метану).

Протікання розглянутого циклу у всіх комірках 12 ротора 9 у своїй сукупності забезпечить безперервний робочий процес двигуна з передачею крутного моменту до вала 10 відбору потужності.

Передумови прогнозованого підвищення техніко-економічних показників каскадного двигуна обумовлені наступними особливостями робочого процесу: рекуперативне використання частини газів, що розширюються, для здійснення основного стиску заряду в процесі каскадного масообміну забезпечує більш високий ступінь стиску, що сприяє підвищенню термічного ККД двигуна.

У каскадному двигуні на витікання реактивних струменів здійснюється не в атмосферу, як у ХДД, а в масообмінні канали статора, зниження перепаду тисків у реактивних соплах до підкритичного рівня супроводжується зменшенням витрат затоплення струменів. При цьому залишкова енергія реактивного струменя, не перетворена у роботу, не втрачається загалом, оскільки корисно використовується у вигляді потокової субстанції у масообмінних каналах, сприяючи додатковому підвищенню тиску попереднього стискування заряду без збільшення кількості підведеної теплоти.

Завдяки тому, що паливо-повітряна суміш наприкінці процесу стиску зосереджується з боку джерела запалення, частково змішується з гарячими газами та підігріває стінки вічок, створюючи сприятливі умови для своєчасного згорання бідних палив, у тому числі, природного метану з невисоким ступенем очищення.

Характерною рисою робочого циклу каскадного двигуна є помітне зниження максимального тиску циклу зі збільшенням частоти обертання ротора, що пояснюється зростанням вмісту газів, що відробили, в обсязі комірки, внаслідок погіршення якості продувки комірок свіжим зарядом від газів у період підключення до вікон підведення паливоповітряної суміші й відводу газів.

Відповідно до останнього скорочується й кількість свіжого заряду в комірці, що супроводжується зниженням максимальної температури згорання паливоповітряної суміші та циклу в цілому.

Таким чином, у діапазоні режимів роботи двигуна, близьких до номінального по частоті обертання ротора, робочий процес характеризується сприятливими умовами роботи по термічній напруженості деталей.

Слід відзначити, що наведені результати попередніх досліджень каскадного двигуна не відображають повною мірою його економічних переваг лише тому, що є усередненими і потребують детальної оптимізації. Проте, навіть отримані значення ККД дозволяють з великою ймовірністю передбачити економічну доцільність використання КДД.

Висновки. Особливості організації робочого процесу дискового двигуна реактивного обертання, створеного на базі каскадних трансформаторів енергії, забезпечують суттєві переваги над існуючими двигунами традиційних схем за критеріями компактності та спрощення конструкції, при одночасному забезпеченні прийнятних техніко-економічних показників. Можливість використання будь-якого рідинного або газоподібного палива у сукупності з невисокою собівартістю виробництва забезпечує високий рівень універсальності та екологічної безпеки

каскадних дискових двигунів, що розширяє галузь їх можливого застосування у на автомобільному транспорті.

Список літератури: 1. Akbari P. A. Performance Enhancement of Microturbine Engines Topped With Wave Rotors / P. A. Akbar, M. R. Nalim, N. Muller // ASME J. Eng. Gas Turbines Power, -2006.- №128(1).- pp. 190-202. 2. Akbari P. A. Review of Wave Rotor Technology and its Application / P. A. Akbari, M. R. Nalim, N. Muller // ASME O. Eng. Gas Turbines Power. -2006. -№128(10) -pp.717-734. 3. Benini E. Centrifugal Compressor of A 100KW Microturbine / E. Benini, A. Toffolo, A. Lazzaretto // ASME Paper GT2003-38152.- 2003. 4. Welch G. E. Overview of Wave-Rotor Technology for Gas Turbine Engine Topping Cycles / G. E. Welch // The Institution of mechanical Engineers London. – 2000. - pp. 2-17. 5. Крайнюк А. И. Системы газодинамического наддува: монография / А. И. Крайнюк, Ю. В. Сторчеус. – Луганск: ВУГУ, 2000. – 224 с. 6. Крайнюк А. И. Исследования физической сущности процессов трансформации энергии на принципах каскадно-теплового сжатия: монография / А. И. Крайнюк, Ю. В. Сторчеус; [отв. ред. Ю. В. Сторчеус]. – Луганск: изд-во «Ноулидж», 2012. – 118 с. 7. Сторчеус Ю. В. Научная деятельность кафедры ДВС ВЛУ им. В. Даля / Ю. В. Сторчеус // Двигатели внутреннего сгорания. – Х.: ХПИ, 2011.- № 1. – С. 68-72. 8. Сторчеус Ю. В. Особливості робочого циклу каскадного дискового двигуна реактивного обертання / Ю. В. Сторчеус, А. О. Данілейченко, М. А. Брянцев, О. С. Ковтун // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – Луганськ, 2013. - № 4(193). - С.238 - 242. 9. Сторчеус Ю. В. Рабочий цикл и перспективы применения каскадного дискового двигателя на железнодорожном транспорте / Ю. В. Сторчеус, А. А. Данилейченко, М. А. Брянцев, А. С. Ковтун // Іноваційні технології на залізничному транспорті: матер. IV міжнар. наук.-практ. конф. (24-31 березня 2013 г., м. Париж). – Луганськ, 2013. – С. 64 – 65. 10. Сторчеус Ю. В. Перспективы создания сверхкомпактного дискового двигателя каскадного типа для горнорудных производств / Ю. В. Сторчеус, Л. Г. Косоногова, С. В. Большаков // Проблемы горного дела и экологии горного производства: матер. VIII междунар. науч.-практ. конф. (25-26 апреля 2013, г. Антрацит). –Донецк, 2013. – С. 272–275.

Надійшла до редколегії 10.05.2013

УДК 621.486

Використання принципів каскадного енергообміну у автотракторному дисковому двигуні / Ю. В. Сторчеус // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування, 2013. – № 29 (1002). – С. 100–105. – Бібліогр.: 10 назв.

Рассмотрены особенности конструкции и рабочего процесса дискового двигателя каскадного типа. Выявлены основные преимущества двигателей на базе каскадных трансформаторов энергии над волновыми дисковыми двигателями. Изложены теоретические предпосылки использования каскадных дисковых двигателей в качестве автотракторных силовых установок. Выработаны рекомендации по расширению области применения каскадных дисковых двигателей.

Ключевые слова: каскадный дисковый двигатель, трансформация энергии, обменник давления, теплообмен, реактивная струя.

Features of a design and working process of the disk engine of cascade type are considered. The main advantages of engines on the basis of cascade transformers of energy over wave disk engines are revealed. Theoretical preconditions of use of cascade disk engines as autotractor power plants are stated. Recommendations about expansion of a scope of cascade disk engines are developed.

Keywords: cascade disk engine, energy transformation, pressure exchanger, heat exchange, jet stream.