

УДК 621.43

DOI 10.36910/775.24153966.2022.74.2

Т.М. Колеснікова¹, О.С. Лиходій¹, Т.А. Махоркіна², В.В. Шевчук², М.М. Толстушко³¹ Придніпровська державна академія будівництва та архітектури² Львівський національний університет природокористування³ Луцький національний технічний університет

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ДВИГУНІВ НЕТРАДИЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Розглянуто один із актуальних напрямів підвищення паливної економічності, маневреності, запасу ходу та багатопаливності для бойової техніки. Існуючі на сьогоднішній день двигуни внутрішнього згорання (ДВЗ) мають у своєму розпорядженні достатню кількість технічних рішень, що забезпечують високі паливно-економічні та екологічні показники робочого процесу двигуна. Проте, такі двигуни вимагають розв'язання наступних задач: покращення масогабаритних показників, зниження вартості та спрощення конструкції, підвищення надійності, тощо. До основних показників вдосконалення транспортних засобів відноситься також зниження рівня вібрації двигуна. Це завдання особливо актуальне для двигунів, що встановлюється на бойовій техніці. Для вирішення цього завдання було розглянуто безшатунний двигун із кривошипно-кулісним силовим механізмом. Проаналізовано результати реалізації запропонованого проекту. Запропоновано нові технічні рішення, які комплексно вирішують завдання створення нового безшатунного двигуна зі змінним ступенем стиску для бойової техніки. Розглянуто принцип роботи безшатунного двигуна з кривошипно-кулісним силовим механізмом, подано результати теоретичних та експериментальних досліджень безшатунного двигуна. Проаналізовано його переваги та недоліки. Надано рекомендації щодо застосування двигуна з кривошипно-кулісним силовим механізмом у бойовій техніці. Повна зрівноваженість запропонованого двигуна дає можливість отримати низький рівень шуму та вібрації силової установки загального призначення. В сучасних реаліях такими двигунами обладнують безпілотні літальні апарати, адже тут важливу роль для нормальної роботи чутливої апаратури відіграє відсутність вібрації. Можливе використання безшатунного двигуна з кривошипно-кулісним механізмом в гібридних квадрокоптерах для автоматичного моніторингу, оскільки в двигуні повністю відсутня вібрація, також для доставки вантажів і контролю безпеки технічних об'єктів. Даний безпілотний літальний апарат квадрокоптерного типу відрізняється використанням двох типів двигунів: безшатунного двигуна внутрішнього згорання - для створення підйомної сили і генерації електроенергії, та електричного двигуна малої потужності - для управління польотом. Подібна конструкція дозволяє забезпечити більшу вантажопідйомність і тривалість польоту на відміну від квадрокоптерів з електричними двигунами.

Ключові слова: ступінь стиску, безшатунний двигун, паливна економічність, багатопаливність, кривошипно-кулісний механізм, зрівноваженість, робочий процес, бойова техніка.

Т.М. Kolesnikova, O.S. Lykhodii, T.A. Makhorkina, V.V. Shevchuk, M.M. Tolstushko

PROSPECTS FOR THE APPLICATION OF ENGINES OF NON-TRADITIONAL DESIGNS

One of the topical directions of increasing the fuel efficiency, maneuverability, power reserve and multi-fuel capability of military equipment is considered. The existing internal combustion engines today have sufficient technical solutions that provide high fuel-economic and environmental performance of the engine's working process. Along with this, such engines require the solution of the following problems: improving weight and size indicators, reducing cost and simplifying the design, increasing reliability, and the like. The main tasks of vehicles also include reducing the level of engine vibration. This task is especially relevant for engines that are installed on military equipment. To solve this problem, a connecting rodless engine with a crank-rocker power mechanism was considered. New technical solutions are proposed that comprehensively solve the problem of creating a new connecting rodless engine with a variable compression ratio for military equipment. The principle of operation of a connecting rodless engine with a crank-rocker mechanism is considered, the results of theoretical and experimental studies of a connecting rodless engine are given. Its advantages and disadvantages are analyzed. Recommendations are given on the use of an engine with a crank-rocker mechanism in military equipment. The complete balance of the proposed engine ensures a low level of vibration and noise of the power plant for any purpose. Such engines were in great demand today for unmanned aerial vehicles, where the absence of vibrations plays an important role for the normal operation of sensitive equipment. The rockerless engine with a crank-rocker mechanism can be used in hybrid quadcopters for automatic monitoring, since there is no vibration in the engine, as well as for cargo delivery and security control of technical facilities. Such a quadcopter-type unmanned aerial vehicle is distinguished by the use of two types of engines: a spinless internal combustion engine – to create lift and generate electricity, and a low-power electric motor - for flight control. This design allows for a large load capacity and flight duration, unlike quadcopters with electric motors.

Key words: compression ratio, crankless engine, fuel efficiency; multi-fuel, crank-rocker mechanism, equilibrium, the working process, military equipment.

Постановка проблеми. Найважливіші бойові якості танка – його рухливість і прохідність – що характеризуються найбільшою та середньою швидкостями руху різними дорогами і поза шляхом, запасом ходу з однією заправкою палива для різних дорожніх умов, здатністю долати

різноманітні природні та штучні перешкоди, у тому числі форсувати водні перешкоди дном та вплавав.

На даний час військові фахівці багатьох країн розглядають високу рухливість і прохідність танків у якості важливого чинника підвищення тривалості їх "виживання" на полі бою. Тому, нарівні з посиленням бронювання танків, активно проводяться роботи по підвищенню характеристик їх двигунів. Мета таких досліджень полягає у покращенні маневреності танка на складній місцевості, зменшення часу перебування танка під вогнем супротивника, паливної економічності для підвищення запасу ходу, а також однієї з найважливіших складових – багатопаливності, задля того, щоб машина могла працювати на різних паливах (гас, бензин тощо).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Іноземні фахівці з військової техніки висувають до двигунів сучасних танків високі вимоги. У відповідності з тактико-технічними вимогами, які прийняті в США [1], танки повинні мати: великий термін служби, невеликі вагу та габарити, легкий запуск двигуна, хороші показники питомої потужності та надійності роботи за температур в діапазоні від -40° до $+59^{\circ}$, можливість працювати на різних паливах, відносно невелику питому витрату палива, хорошу ремонтпридатність, безшумність роботи, низьку ціну і так далі.

Основним напрямом збільшення рухливості та прохідності є зменшення ваги танків, що забезпечує зростання їх питомої потужності, а отже, і швидкостей руху. На деяких танках («Леопард», АМХ-30) для зменшення ваги погіршено броньовий захист. Для підвищення потужності і зменшення витрати палива була розроблена апаратура безпосереднього впорскування палива, що замінила карбюратори.

Дизельні двигуни широко використовуються в танках західних країн, оскільки витрата палива у них на 40% менша, ніж в бензинових двигунів, а це має важливе значення для підвищення запасу ходу танків. Запас ходу англійських танків «Центуріон» МК7 і американських М47 і М-18, що мають бензинові двигуни, не перевищує 200 км., а танків «Чифтен» МК2 і 3, М60, АМХ-30 і «Леопард» 1, оснащених дизельними двигунами, збільшився до 400 — 600 км [2].

Важливою перевагою танкових двигунів вважається також їх здатність працювати на різних видах палива (багатопаливність). Це досягається, зокрема, зміною конструкції камери згорання. Багатопаливні двигуни рідинного охолодження, що розроблені у Німеччині, використовуються в німецькій і швейцарській бронетанковій техніці. Так, 10-циліндровий V-подібний двигун МВ-838САМ300, встановлений на танках «Леопард» А1 і його модернізованих варіантах «Леопард» А4, 8-циліндровий V-подібний двигун МВ-837АА використовується на німецькій самохідній гарматі «Ягдпанцер», а 6-циліндровий варіант з турбонагнітачем МВ-833ЕА потужністю 600 л. с. - на бойовій машині піхоти «Мардер». Також основний бойовий танк (ОБТ) збройних сил Франції АМХ-30, що відрізняється від ОБТ провідних країн світу невисокою захищеністю, але значною рухливістю, високою маневреністю та багатопаливністю.

На озброєнні бронетанкових військ України знаходяться бойові танки «Оплот», Т-64БМ «Булат», Т-64БВ. Танки «Оплот» мають відносно високу вартість, тому частіше використовують модернізовані «шістдесятчетвірки». Українські танки добре зарекомендували себе під час російського вторгнення на Україну в 2014-2015 роках. За висновками експертів характеристики українських танків значно кращі у порівнянні з характеристиками наймасовіших російських танків Т-72 різних модифікацій. Т-72 у всіх його модифікаціях українським танкам не суперник. Навіть російські Т-90 мають гірші характеристики у порівнянні з модернізованими машинами Т-64БВ і Т-64БМ [3].

Основні бойові танки Т-64, що стоять на озброєнні сухопутних військ, пройшли серйозну модернізацію - вони отримали оновлений приціл нічного бачення, сучасну радіостанцію, модернізований двигун і так далі. Також, завдяки модернізації, були розширені їх бойові можливості та збільшена надійність вузлів.

На озброєння України поставлений глибоко модернізований танк Т-64БМ Булат, який активно застосовували у бойових діях на сході держави, але його двигун 5ТДФМ на 850 кінських сил недостатньо потужний для танка з бойовою масою 45 тонн.

Новітній український танк «Оплот-2М» - машина переважно для експорту. Виготовлений на базі одного з кращих основних бойових танків світу – Т-80УД «Оплот» виявився занадто дорогим для застосування в ЗСУ. До того ж згідно з даними виробника, заводу ХБКМ, близько 5% комплектуючих в танку, як і раніше, складають російські запчастини.

Усі сучасні танкові двигуни повинні працювати на різних паливах. Для спрощення завдань постачання палива танки мають працювати як на дизельному паливі, так і на високооктановому бензині. Танкові двигуни мають забезпечувати підвищені енергетичні показники, які запроектовані на роботу до 500...1000 мото-годин, а можливо й більше. Визначальним показником у бою для танка є маневреність. Для маневреності танка необхідна висока потужність двигуна. Збільшити потужність двигуна можна підвищенням ступеня стиску – основний енергетичний показник, який впливає як на потужність, так і на паливну економічність двигуна. Не менш важливим в бойовій техніці є розташування циліндрів в двигуні. Горизонтальне протилежне розташування циліндрів є доцільним у тих випадках, коли необхідно отримати найменшу висоту двигуна. Спроби застосувати інші схеми розташування циліндрів (Х-подібне, Н-подібне і т. д.) не мали успіху, оскільки, не даючи скільки-небудь помітних габаритних переваг, вони ускладнюють завдання розташування агрегатів і доступ до них.

Постановка завдань. З вище викладеного аналізу слідує, що танковий двигун має бути більш економічним, багатопаливним, мати низьку вібрацію та змінну ступінь стиску.

Найкраще оголошеним вимогам для танків відповідає безшатунний двигун з кривошипно-кулісним силовим механізмом (ККМ).

У безшатунному двигуні будуть використані такі досягнення вітчизняної науки і техніки:

- 1) силовий безшатунний агрегат, який містить кривошипно-кулісний механізм;
- 2) змінний ступінь стискання для різних режимів роботи двигуна.

Безшатунний силовий агрегат у порівнянні з традиційним кривошипно-шатунним механізмом (КШМ) дає можливість на 6...10% підняти механічний ККД, краще зрівноважити сили інерції та покращити показники моторесурсу циліндро-поршневої групи. Краща зрівноваженість двигуна забезпечить низький рівень шуму та вібрацій силової установки загального призначення [4].

Викладення основного матеріалу. Результатом реалізації запропонованого проекту є створення повністю зрівноваженого українського двигуна поршневого типу, що характеризується змінним ступенем стиску.

Існують такі вимоги, які важко задовольнити у сучасних двигунах внутрішнього згоряння:

1. Ресурс двигуна у середньому не перевищує 2000 мотогодин [5].
2. Зрівноваженість поршневого двигуна.

Для зменшення рівнів вібрацій в ДВЗ іноді застосовуються зрівноважуючі механізми, які погіршують масо-габаритні показники двигунів та збільшують їхню вартість.

Крім цього, як і до всіх перспективних двигунів до автомобільних поршневих двигунів висувається ряд основних вимог: підвищення економічності, підвищення літрової потужності, зниження токсичності відпрацьованих газів та зниження питомої маси.

Нові технічні рішення, які запропоновані у даній роботі, будуть комплексно вирішувати завдання використання нового безшатунного двигуна з ККМ та зі змінним ступенем стиску і новим робочим процесом.

За останніх п'ять років були запропоновані конструкції легкових автомобілів з безшатунним двигуном, який має змінний ступінь стиску та модульне відключення циліндрів. Для виготовлення двигунів передбачені традиційні матеріали для двигунобудування.

За використання двох колінчастих валів в конструкції двигунів з ККМ є можливість створити повністю зрівноважений поршневий двигун внутрішнього згоряння з відносно невеликим числом циліндрів (2 або 4).

Саме такі двигуни намагаються використати для безпілотних літальних апаратів, у яких важливу роль відіграє відсутність вібрацій для стабільної роботи чутливої апаратури.

Повна зрівноваженість двигуна під час його експлуатації буде забезпечувати малий рівень вібрацій та шуму силової установки. Безшатунний двигун з кривошипно-кулісним механізмом можна використовувати в гібридних квадрокоптерах для автоматичного моніторингу, так як в двигуні повністю відсутня вібрація, також для доставки вантажів і контролю безпеки технічних об'єктів.

Такий безпілотний літальний апарат квадрокоптерного типу відрізняється використанням двох типів двигунів: безшатунного двигуна внутрішнього згоряння - для створення підйомної сили і генерації електроенергії, та електричного двигуна малої потужності - для управління польотом. Така конструкція дозволяє забезпечити більшу вантажопідйомність і тривалість польоту у відмінності від квадрокоптерів з електричними двигунами.

Безшатунний двигун являє собою двовальний поршневий ДВЗ з ККМ, в якому зусилля від поршня 1 передається на колінчасті вали 5 через шток 2, повзуни 3 і кулісу 4 (рис. 1).

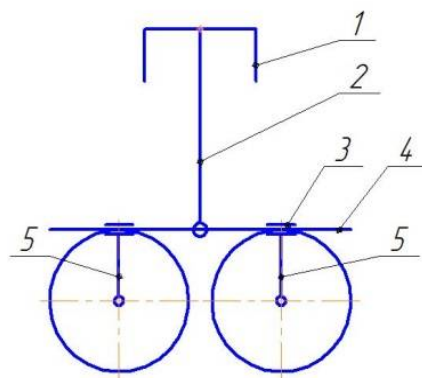


Рис. 1 Принципова схема безшатунного двигуна

За результатами теоретичних та експериментальних досліджень можна зробити такі висновки щодо переваг безшатунного двигуна у порівнянні з двигуном традиційної конструкції:

- краща паливна економічність на 10...15% завдяки поліпшенню кінематики і реалізації робочого процесу;
- повна зрівноваженість механізму двигуна за силами інерції та моментами;
- рівень вібрації та шуму значно нижчий. Рівень вібрації нижчий на 3...4 дБ, а рівень шуму нижчий на 2...3 дБА;
- більший ККД двигуна приблизно на 10...15%;
- багатопаливність, що реалізується робочим процесом у циліндрі в бензиновому двигуні завдяки розшаруванню заряду, а в дизельному двигуні – регулюванням ступеня стиску;
- вища літрова потужність завдяки високому ККД (0,8...0,9);
- нижча питома маса самого двигуна;
- більший ресурс двигуна, що визначається меншим зносом поршня та циліндра завдяки відсутності бічної сили, яка діє на поршень.

На безшатунний двигун встановлюється механізм зміни ступеня стиску (рис. 2).

Двигун призначений для легкового автомобіля, розроблений на базі автомобіля Opel, що серійно випускається, з робочим об'ємом 1500 см³. Двигун чотиритактний з електронним впорскуванням палива. Ступінь стиску змінюється від 7 при максимальній потужності двигуна до 19 при навантаженні 10%.

Суть методу зміни ступеня стиску полягає у зміні об'єму камери згоряння за рахунок зміни положення поршня у верхній мертвій точці.

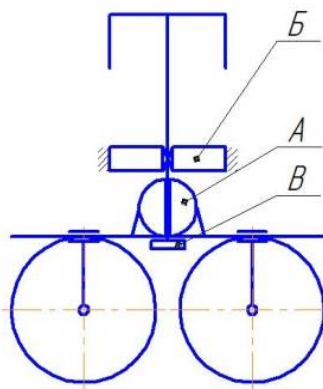


Рис. 2 Принципова схема безшатунного двигуна зі змінним ступенем стиску

Згідно з опублікованими результатами проведених досліджень, зростання економічності безшатунного двигуна в порівнянні з двигуном з кривошипно-шатунным силовим механізмом складається з наступних факторів:

- синусоїдального закону руху поршня – зростання на 11% [6];
- найменшої величини механічних втрат - зростання на 6 - 9%;
- можливості збільшення ступеня стиску при тому самому паливі – зростання на 10% (при збільшенні ступеня стиску до $\epsilon = 17$ було отримано зростання економічності – на 21%);
- викиди токсичних компонентів менші на 10-20%.

Конструктивні переваги двигуна з ККМ:

- зменшення габаритів та маси двигуна через зменшення висоти поршня;
- через меншу висоту поршня і довжину штока (порівняно з шатуном) знижується маса комплексу деталей;
- бічні зусилля з поверхні поршня перенесені на повзуни;
- сили та моменти сил інерції першого порядку повністю врівноважуються, а сили та моменти другого та наступних порядків відсутні через рівність радіусів кривошипів та колінчастому валу [7].

Конструктивні недоліки двигуна з ККМ:

- кількість деталей ККМ більше, ніж деталей КШМ (2 колінчасті вали замість одного, шток плюс куліса, два повзуни замість шатуна);
- необхідність наявності напрямних повзунів у блоці циліндрів та точок циркуляційного мастила повзунів під тиском.

Конструктивна складність та собівартість виготовлення двигунів з ККМ та КШМ зіставні з наступних причин:

- Кількість деталей силових механізмів двигунів з ККМ та КШМ можна порівняти.
- Деталі безшатунного силового механізму простіше і менше за розмірами ніж аналогічні деталі кривошипно-шатунного механізму.

Висновки. У якості висновку можна відзначити, що цілком можливе застосування в українській наземній бойовій техніці безшатуного двигуна з кривошипно-кулісним механізмом завдяки його наступним перевагам: вища паливна економічність, повна зрівноваженість двигуна, низький рівень вібрації та шуму, вище ККД, більша літрова потужність, менша питома маса двигуна та його габарити, вище ресурс двигуна, наявність змінної ступіні стиску.

Список використаних джерел

1. Соколенко В., Борюшин В. Направления разработки американского легкого танка нового поколения. ч.1. 2022.

http://pentagonus.ru/publ/po_rodam_vojsk/armija/napravlenija_razrabotki_amerikanskogo_legko_tanka_novogo_pokolenija_2022/147-1-0-3182

-
2. Крис Бишоп Современная военная техника. Видавець: АСТ-Астрель, 2003. 542 с.
 3. <https://xn----7sbapesr18aur.xn--p1ai/bronetehnika/t-64-bulat.html>
 4. Сохацький А. В., Трофімов О. В., Фірсов О. Д. Динаміка автомобільних та інших транспортних засобів. Ч. 1. Тягово-швидкісні властивості автотранспортних засобів. Паливна економічність: навч. посібник. Дніпро: Університет митної справи та фінансів, 2018. 56 с.
 5. Gutarevich Yu.F., Trifonov D.M., Syrota O.V. Car ZAZ-1102 improvement in fuel efficiency and environmental performance in warm-up phase after engine cold start. Academic Journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. PoltNTU, 2017. 1 (48). P. 19-25.
 6. Абрамчук Ф.І., Гутаревич Ю.Ф., Долганов К.С., Димченко І.І. Автомобільні двигуни: Підручник. К.: Арістей, 2004. 476 с.
 7. . Robert L. Kinematics and Dynamics of machinery. McGraw-Hill, 2013. 787 p.