

УДК 629.33:621.541

Мокряк Б.Ю., аспірант

Національний університет «Львівська політехніка», bohdan.y.mokriak@lpnu.ua

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ПНЕВМАТИЧНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ

Зростання екологічних загроз, пов'язаних із викидами шкідливих речовин від автомобільного транспорту, стимулює пошук альтернативних джерел енергії для силових установок. Одним із перспективних напрямів у цьому контексті є застосування стисненого повітря як робочого середовища для двигунів [1, 3].

Пневматичні двигуни, на відміну від традиційних систем на основі внутрішнього згоряння, не виробляють шкідливих викидів, забезпечують високий рівень безпеки, є дешевими у виробництві та обслуговуванні, а також не залежать від коливань температури навколишнього середовища. Саме тому дослідження їхньої ефективності, конструктивних рішень та можливостей інтеграції у сучасні транспортні системи є вкрай актуальним.

Метою дослідження є аналіз існуючих пневматичних двигунів, виявлення їх сильних і слабких сторін, а також розробка конструктивної схеми пневмотрансмісії для автомобільного застосування. Основну увагу приділено оцінці енергетичних характеристик двигунів, вивченню впливу конструктивних параметрів на ефективність роботи, а також визначенню технічних рішень для підвищення ККД та зниження втрат при експлуатації.

У результаті опрацювання літературних джерел проаналізовано декілька типів пневматичних двигунів: поршневі, пластинчасті, одношнекові та з подвійними роторами.

Найбільшу поширеність мають поршневі системи [4, 5], що характеризуються простотою реалізації, проте мають низьку ефективність. Пластинчасті двигуни забезпечують високий пусковий момент і компактність, але вимагають рясного змащування та мають обмежений термін служби через зношування ущільнень.

Одношнекові конструкції дозволяють досягти ефективності до 55% при менших розмірах та простішій компоновці [6]. Пневматичні двигуни з подвійними роторами забезпечують змінний робочий об'єм, що дозволяє порівнювати їх за потужністю з багатоциліндровими ДВЗ при меншому споживанні повітря.

Інноваційні рішення, такі як механізм з подвійним колінчастим валом [7], дозволяють утримувати поршень до моменту вирівнювання тиску, що значно покращує ККД та зменшує втрати енергії на випуск.

У низці досліджень також підкреслюється ефективність впровадження систем компенсації температури з використанням етанолу як теплообмінного середовища, що дозволяє усунути проблему замерзання елементів двигуна [3].

На основі проведеного аналізу запропоновано структурну схему пневмотрансмісії, яка включає пневматичну виконавчу частину (шиберний мотор) та електричну систему управління (контролер, батарея, компресор) [8]. Така система забезпечує стабільну подачу стисненого повітря до виконавчого механізму та можливість часткової рекуперації енергії.

Для збільшення ефективності роботи двигуна рекомендовано впровадити адаптивну систему керування подачею повітря, яка регулює кількість і тиск у залежності від навантаження на валу двигуна. Це знижує витрати повітря на холостому ходу та підвищує енергоефективність системи.

Окрему увагу приділено аналізу варіантів підвищення запасу ходу CAV. Одним із найперспективніших рішень є рекуперативне гальмування, яке дозволяє частково повернути механічну енергію до балонів зі стисненим повітрям [10]. Це дозволяє збільшити пробіг без фізичного збільшення об'єму балонів.

Іншим напрямом є використання пневматичних двигунів у вибухонебезпечних або погано вентильованих умовах, де застосування ДВЗ чи електродвигунів є небажаним. У таких середовищах переваги CAV — відсутність іскроутворення, мінімальні теплові втрати та екологічна безпека — є критичними [2].

Перспективними залишаються також багатоступеневі двигуни з ізотермічним розширенням. Це дозволяє досягти вищої ефективності при зниженні пікових навантажень на компоненти системи. Дослідження вказують на зростання енергоефективності до 30% при застосуванні таких рішень [5].

Загальні висновки свідчать, що хоча САV не є повноцінною заміною традиційним автомобілям, вони мають нішевий потенціал в умовах, де критичними є екологічність, компактність та безпечність. Подальші дослідження мають бути спрямовані на оптимізацію конструкцій, зменшення втрат у клапанних системах і впровадження інтелектуальних систем керування.

Окремо варто акцентувати увагу на характері енергетичних втрат у пневматичних системах. Стиснення повітря вимагає значних енергетичних витрат, що можуть сягати до 70 % загальної спожитої енергії. У порівнянні з електричними приводами, де втрати енергії на зберігання є суттєво нижчими, пневматичні установки програють у категорії загального ККД. Проте їхня перевага полягає у швидкості віддачі енергії та здатності працювати при наднизьких температурах без зменшення ефективності.

Зменшення втрат можливе за рахунок використання ізотермічного або поліізотермічного стискування, де додаткове охолодження компресора забезпечує наближення до оборотних процесів. Використання фазових змін речовин (наприклад, вода-пара) як допоміжних носіїв енергії в системі дозволяє акумулювати та вивільняти додаткову теплоту в циклі розширення повітря.

Нарешті, стратегія розвитку пневматичних двигунів у найближчі роки має враховувати не лише технічні аспекти, а й нормативні, екологічні й економічні. Необхідне формування нових підходів до стандартизації безпечного зберігання стисненого повітря, тестування герметичності систем, а також визначення вимог до енергоефективності з урахуванням повного життєвого циклу виробництва та утилізації компонентів.

При розробці пневмобалонних систем важливим питанням залишається їх компоновка у кузові транспортного засобу. Використання модульних легкосплавних або вуглепластикових балонів дозволяє зменшити вагу системи, проте вимагає ретельного дотримання норм безпеки при зберіганні повітря під тиском 200–300 бар.

Ключові слова: пневматичний двигун, стиснене повітря, пневмотрансмісія, шибєрний мотор, рекуперация, ефективність, екологічний транспорт.

Список посилань

1. Verma S. Air Powered Vehicles. *The Open Fuels & Energy Science Journal*, Vol. 1, 2008, pp. 54–56.
2. Fang Y., Lu Y., Yu X., Roskilly A.P. Experimental study of a pneumatic engine with heat supply to improve the overall performance, *Appl. Therm. Eng.* 134 (2018) 78–85.
3. Shi Y., Sun J.P., Cai M.L., Xu Q.Y. Study on the temperature compensation technology of air-powered engine, *J. Renew. Sustain. Energy* 7 (2015).
4. Liu H., Chen Y., Tao G.L. et al. Research on the displacement and stroke-bore ratio of the air-powered engine, in: *Proc. of the 6th Int. Conf. on Fluid Power Transmission and Control*, 2005.
5. Yu Q.H., Cai M.L., Shi Y. Working characteristics of two types of compressed air engine, *J. Renew. Sustain. Energy* 8 (2016).
6. Hu J.-Q., Yu X.-L., Liu L. et al. Dynamic characteristics of in-cylinder flow field in air-powered engine, *J. Zhejiang Univ. (Eng. Sci.)*, 2007.
7. Liu L., Yu X.-L. Optimal piston trajectory design of air powered engine, *Zhejiang Daxue Xuebao (Eng. Sci.)* 40 (2006).
8. Мокряк Б.Ю. Аналіз досліджень пневматичних автомобільних двигунів // Стаття. Львів: НУЛП, 2025.
9. Wang M. GREET 1.5—Transportation Fuel Cycle Model. Argonne National Laboratory, 1999.
10. Koca A. et al. Design and application of electromagnetic solenoid for valve mechanism on compressed air engines, *J. Fac. Eng. Archit. Gaz.* 26 (2011).