

Висновки

За результатами порівняльного математичного моделювання показано, що зі збільшенням значень стехіометричних співвідношень водню та повітря у ПЕ на режимах з робочою температурою 70 °С поліпшуються експлуатаційні показники енергоустановки.

Література

1. **Yi Y. et al.** Accelerating Towards Sustainability: Policy and Technology Dynamic. *Sustainability*. 2025. Vol. 17, no. 8. 3668. DOI: <https://doi.org/10.3390/su17083668>.
2. **Borodenko Y. et al.** Energy aspects of automobile transport. *Automobile transport*. 2023. Vol. 53. P. 37–50. DOI: <https://doi.org/10.30977/AT.2219-8342.2023.53.0.05>.
3. **Ermis K., Toklu E., Yegin M.** Investigation of operating temperature effects on PEM fuel cell. *Journal of Engineering Research and Applied Science*. 2020. Vol. 9 (2). P. 1538–1545. URL: <https://www.journaleras.com/index.php/jeras/article/view/213> (дата звернення: 04.03.2026).

УДК 641.43

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ЧОТИРИТАКТНОГО ПНЕВМОДВИГУНА ДЛЯ МАЛОГАБАРИТНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Нікітченко Ігор Миколайович, завідувач кафедри ДВЗ, кандидат технічних наук, доцент Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: igor.nikitchenko@gmail.com, ORCID [0000-0002-9481-4296](https://orcid.org/0000-0002-9481-4296)

Кляузер Сергій Андрійович, аспірант, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: klyauzersergei@gmail.com, ORCID: [0009-0004-4582-6794](https://orcid.org/0009-0004-4582-6794)

Пневматичні двигуни, що працюють на енергії стисненого повітря - є перспективним напрямком завдяки їхній нульовій емісії в місці експлуатації, простоті конструкції та пожежобезпечності. Чотиритактні пневмодвигуни - є менш дослідженими в порівнянні з традиційними двигунами внутрішнього згоряння, проте мають значний потенціал для застосування у міському циклі руху.

Метою роботи є аналіз робочого процесу чотиритактного інтегрованого пневмодвигуна, визначення його основних параметрів та комплексна оцінка енергетичних показників.

Системи пневматичного приводу можна класифікувати за ступенем інтеграції з традиційним ДВЗ на повністю пневматичні, послідовні та паралельні пневмо-гібриди, а також інтегровані (комбіновані) системи. Саме інтегрований Пневмо-ДВЗ, де циліндри двигуна можуть виконувати функції

камери згоряння, пневмодвигуна або компресора, є об'єктом подальших досліджень.

Хоча пневмодвигун, як і ДВЗ, може працювати і в 2-х і 4-х тактному режимі роботи - на відміну від ДВЗ, у чотиритактному пневмодвигуні - робочий цикл має суттєві відмінності.

Такт впуску - наповнення циліндра повітрям низького тиску при русі поршня до нижньої мертвої точки (НМТ).

Такт стиснення - для зниження опору («негативного моменту») відкривається клапан буферної камери, що збільшує об'єм стиснення та полегшує прокручування вала.

Робочий хід - у верхній мертвій точці (ВМТ) подається повітря високого тиску з резервуара через буферну камеру в циліндр, що створює необхідний крутний момент.

Такт випуску - виштовхування відпрацьованого повітря в атмосферу при русі поршня до ВМТ; при цьому клапан буферної камери закривається в НМТ для запобігання зворотному потоку.

Принципова схема такої системи (рисунок 1) передбачає наявність резервуара стисненого повітря (7), буферної камери (8) та системи керування запірних клапанів (9, 10).

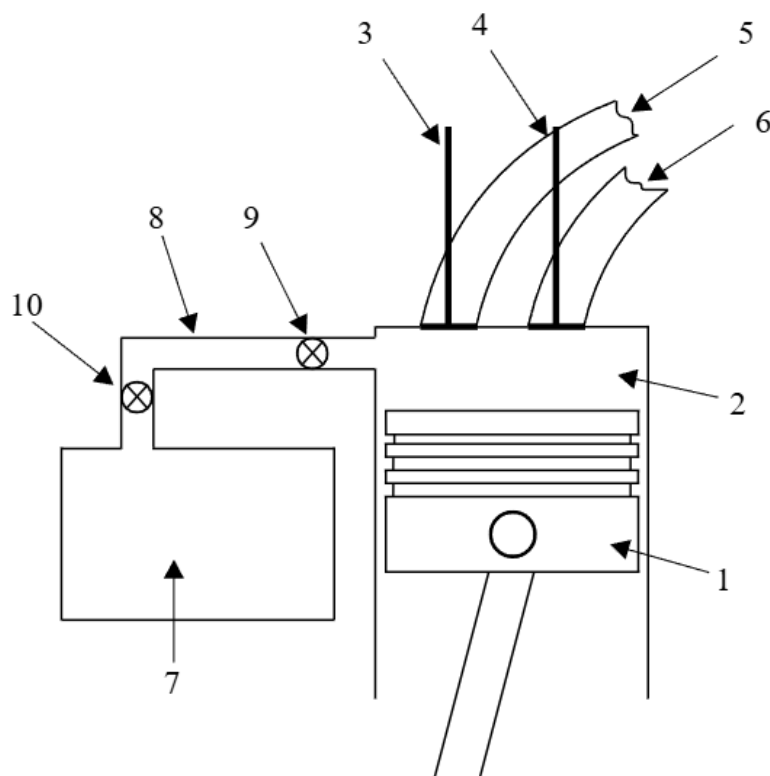


Рисунок 1 – Принципова схема пневматичної гібридної системи.

1 - поршень, 2 – циліндр, 3 – випускний клапан, 4 – впускний клапан,
5 – випускний канал, 6 – впускний канал, 7 – резервуар з стисненим повітрям,
8 – буферна камера, 9 – перший запірний клапан, 10 – другий запірний клапан

Робота, виконана пневмодвигуном за один цикл, визначається площею індикаторної діаграми процесу розширення повітря. Теоретична робота газу може бути визначена за рівнянням політропного процесу розширення:

$$L = \frac{p_1 V_1 - p_2 V_2}{n-1} \quad (1)$$

де p_1, p_2 – тиск повітря на початку та в кінці розширення, Па;
 V_1, V_2 – відповідні об'єми, м³;
 n – показник політропи.

Потужність пневмодвигуна визначається за формулою:

$$N = \frac{L \cdot z \cdot n_{об}}{30 \cdot \tau} \quad (2)$$

де τ – тактність
 z – кількість робочих циклів за один оберт колінчастого вала;
 $n_{об}$ – частота обертання, хв⁻¹.

Конструктивно інтегрований пневмо-ДВЗ є багатофункціональною енергетичною установкою. Основна конструктивна особливість полягає в тому, що циліндри двигуна звичайного ДВЗ можуть виконувати ролі камери згоряння, пневматичного двигуна та компресора. Також такі енергетичні установки можуть мати: додаткові пневматичні клапани, буферні камери, системи безкулачкового газорозподілу, високонапірні балони.

Основною сферою застосування такої пневматичної установки на ДВЗ є міський цикл роботи. Коли ми переносимо роботу пневмодвигуна саме у зони парковок, заторів, навантажених трафіків, щільного потоку і загалом в місцях де швидкість транспортних засобів не перевищує 10-15 км/год - ми прибираємо брудний вихлоп саме там, де він накопичується найсильніше. Це і є основним місцем, в якому пневмодвигун реалізує всі свої переваги в найбільшому обсязі. На ділянках де нам потрібна більша швидкість - ДВЗ буде задіяний в своєму звичайному циклі.

Висновки

Показано перспективність використання пневмодвигунів у складі силових установок малогабаритних транспортних засобів. Під час роботи виконано аналіз літературних джерел, і з аналізу ми можемо зробити висновок що робочий процес пневмодвигуна може бути реалізований і з двох тактним режимом і з чотирьохтактним. Проаналізовано робочий процес чотиритактного пневмодвигуна та визначено послідовність тактів робочого циклу, також було наведено аналітичні залежності для оцінки роботи та потужності пневмодвигуна.

Визначено основні конструктивні та експлуатаційні особливості чотиритактного пневмодвигуна.

Література

1. **Psanis C.** Modelling and experimentation on air hybrid engine concepts for automotive applications. 2007. P. 32–36.
2. **Verma S. S.** Latest Developments of a Compressed Air Vehicle: A Status Report / C. Psanis. 2013.
3. **Trajkovic S.** The Pneumatic Hybrid Vehicle: A New Concept for Fuel Consumption Reduction. 2010.

УДК 621.311.1

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРОМИСЛОВИХ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖ ШЛЯХОМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ НАКОПИЧУВАЧАМИ

Петренко Андрій Володимирович, канд. техн. наук, доцент кафедри інженерії енергосистем, Національний університет біоресурсів і природокористування України, *e-mail: petrenko@nubip.edu.ua*,
ORCID ID 0000-0002-8246-4911

Забіяка Денис Олександрович, аспірант,
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
e-mail: denis19z19@gmail.com,
ORCID ID 0009-0003-2363-097X

У сучасних промислових електромережах активно впроваджуються відновлювані джерела енергії, зокрема сонячні та вітрові електростанції. Зростання частки генерованої електроенергії від відновлюваних джерел призводить до значної непередбачуваності як виробництва, так і споживання електроенергії. У таких умовах ефективно використання систем накопичення енергії BESS стає ключовим для забезпечення стабільності електроенергії в мережі, зниження витрат на електроенергію та зменшення пікового навантаження [1, 2, 5].

Традиційні методи керування, засновані на фіксованих правилах або модельно-прогнозованому підході, мають суттєві обмеження, та не достатньо адаптовані до змінних тарифів, високої невизначеності прогнозів та вимог роботи в реальному часі. Крім того, такі методи часто не враховують одночасно деградацію акумуляторів, пікові навантаження та економічні показники [2, 6, 7].

Алгоритми глибокого навчання з підкріпленням DRL пропонують принципово інший підхід. Вони не потребують точної математичної моделі системи, а навчаються безпосередньо через взаємодію з середовищем. Агент такого навчання формує адаптивну стратегію керування, оптимізуючи функцію винагороди, яка може включати кілька цілей одночасно: мінімізацію вартості