

Інтелектуальні транспортні технології : матеріали 3-ї міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 22–23 листоп. 2022 р.). Харків : УкрДУЗТ, 2022. С. 190–191.

13. **Nerubatskyi V. P., Hordiienko D. A.** Application of energy storages on suburban electric rolling stock. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT – 2024)* : матеріали XVI міжнар. наук.-практ. конф. (Одеса, 29–31 травня 2024 р.). Одеса : ХДМА, 2024. С. 383–384.

14. **Nerubatskyi V. P., Hordiienko D. A.** Energy efficient ways of using energy accumulators in the Smart Grid concept. *Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України*. 2023. Вип. 66. С. 11–15. DOI: <https://doi.org/10.15407/publishing2023.66.011>.

15. **Nerubatskyi V. P., Hordiienko D. A.** Scheme for the transmission of recovery electrical energy between rolling stock with energy storages. *Технологія-2024* : матеріали XXVII міжнар. наук.-техн. конф. (Київ, 24 травня 2024 р.). Київ : СНУ імені В. Даля, 2024. С. 178–179.

16. **Lin L. et al.** Train regenerative braking energy management strategy considering battery state of charge. *Sustainable Energy, Grids and Networks*. 2025. Vol. 43. 101786. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.segan.2025.101786>.

17. **Szelağ A. et al.** Hybrid energy storage system for regenerative braking utilization and peak power decrease in 3 kV DC railway electrification system. *Electronics*. 2025. Vol. 14, iss. 9. 1752. DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics14091752>.

УДК 641.43

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ МІЖ ТЕПЛОВИМИ ВТРАТАМИ ТА ЧАСОМ РОБОТИ ПНЕВМОДВИГУНА ІЗ ЗОЛОТНИКОВИМ МЕХАНІЗМОМ ГАЗОРОЗПОДІЛУ

Нікітченко Ігор Миколайович, канд. техн. наук, доцент кафедри ДВЗ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: igor.nikitchenko@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0741-3177

Трофіменко Дмитро Олександрович, асис. Кафедри ДВЗ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: trofimenko.dmytro2002@gmail.com, ORCID: 0009-0003-5480-0775

Тема теплових втрат у пневмодвигуні є малодослідженою у зв'язку із відсутністю універсальних розрахункових методик, які враховують конструкційні особливості кожного двигуна [1, 2]. Таким чином, відсутнє підґрунтя для подальшого зменшення теплових втрат, що характеризують кількість теплоти, що не перетворюється у корисну роботу.

Метою є визначення ефективних режимів роботи пневмодвигуна завдяки встановленню залежності частки теплових втрат від часу та ККД механічних втрат.

Предметом дослідження є вплив часу, необхідного для здійснення 1 повного робочого циклу, та ККД механічних втрат на частку теплових втрат у пневмодвигуні.

Дане дослідження є продовженням наукової роботи, яка зосереджена на темі теплопередачі у пневматичному двигуні. У межах даної роботи, колектив авторів [3] провів розрахункове дослідження на основі закону Джоуля для визначення кількості теплоти, яка надходить до стінок робочої камери пневматичного двигуна.

На основі відомого значення кількості теплоти, що надходить у стінки робочої камери здійснюється розрахунок частки теплових втрат, яка вказує кількість теплоти, що не перетворюється у корисну роботу, %

$$\varphi_{ст} = \Sigma Q_{Дж} / l_{ад} \cdot 100\% , \quad (1)$$

де $\Sigma Q_{Дж}$ – сумарна кількість теплоти, що надійшла до стінок робочої камери пневмодвигуна протягом 1 повного робочого циклу за законом Джоуля, Дж
 $l_{ад}$ – адіабатична робота за 1 повний робочий цикл пневмодвигуна, Дж.

Автори встановили, що α -моделі Г. Вошні є найбільш точною, тому прийнято рішення використати цю модель для дослідження залежності частки теплових втрат від часу та механічних втрат у пневмодвигуні.

У результаті розрахунку отримано значення сумарної кількості теплоти $\Sigma Q_{Вошні}$, що надійшла до стінок робочої камери за 1 повний робочий цикл (рис. 1).

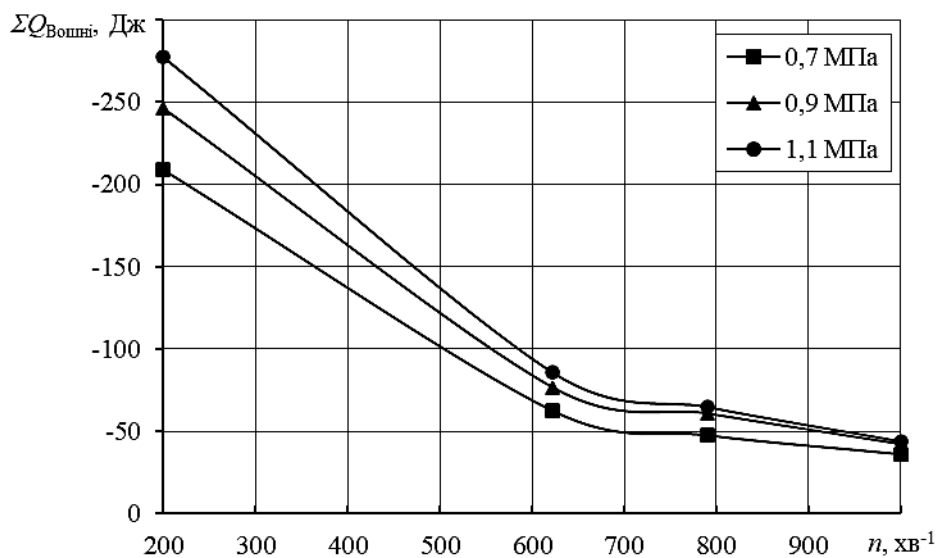


Рисунок 1 – Графік залежності кількості теплоти за α -моделлю Г. Вошні відповідно до режиму роботи пневматичного двигуна

Як видно із рис. 1, кількість теплоти, що надійшла до стінок робочої камери, зменшується зі збільшенням частоти обертання вала пневмодвигуна із золотниковим газорозподілом повітря.

Із використанням рівняння (1) розраховано частку теплових втрат для кожного режиму роботи пневмодвигуна (рис. 2).

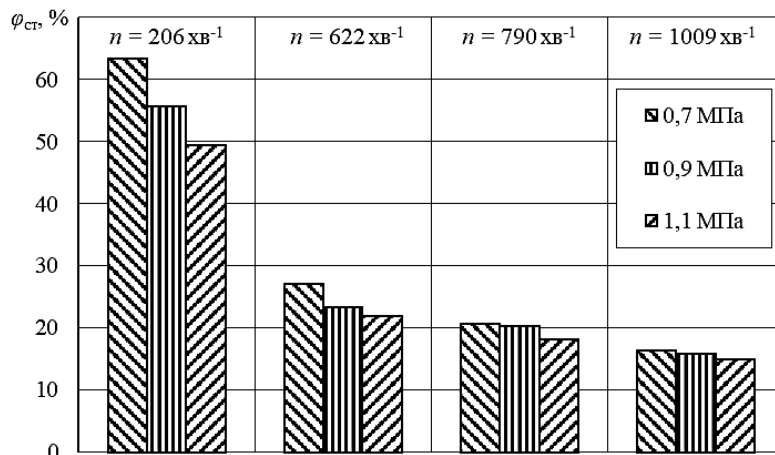


Рисунок 2 – Графік залежності частки теплових втрат $\varphi_{ст}$ від режиму роботи пневматичного двигуна

Для встановлення взаємозв'язку між процесами, вирішено провести розрахунок часу, необхідного для виконання пневмодвигуном повного робочого циклу [2, 4], с

$$\tau = 360 / (n \cdot \delta), \quad (2)$$

де n – частота обертання колінчастого валу, хв⁻¹.

У результаті розрахунку, встановлено, що частка теплових втрат зменшується зі зменшенням часу, необхідного для здійснення 1 повного робочого циклу рис. 3.

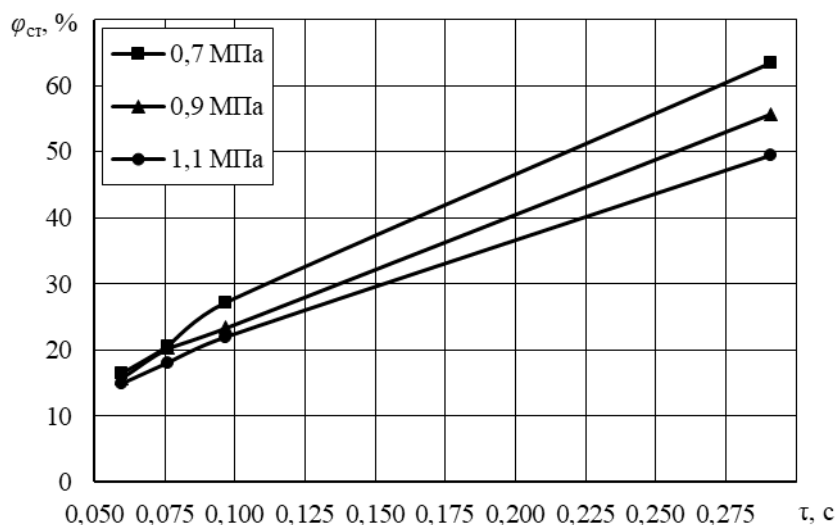


Рисунок 3 – Графік залежності частки теплових втрат $\varphi_{ст}$ від часу, необхідного для виконання 1 повного робочого циклу на різних режимах роботи

Таким чином, зі збільшенням частоти обертання колінчастого валу зменшується тривалість 1 повного робочого циклу і, відповідно, зменшується

проміжок часу, протягом якого відбувається теплообмін між робочим тілом та стінками робочої камери.

Також відомо, що під час роботи пневмодвигуна із золотниковим механізмом виникають деякі гідравлічні втрати у каналі, що сполучає об'єм циліндру із золотником, та механічні втрати на тертя. Для дослідницької роботи вирішено дослідити залежність частки теплових втрат від ККД механічних втрат [2, 4]

$$\eta_M = N_e / N_i. \quad (3)$$

де N_e – ефективна потужність пневмодвигуна, кВт;

N_i – індикаторна потужність пневмодвигуна, кВт.

Результати розрахунку наведено на рис. 4.

Як видно із рис. 4, частка теплових втрат зростає зі збільшенням ККД механічних втрат на тертя деталей пневмодвигуна із золотниковим механізмом газорозподілу.

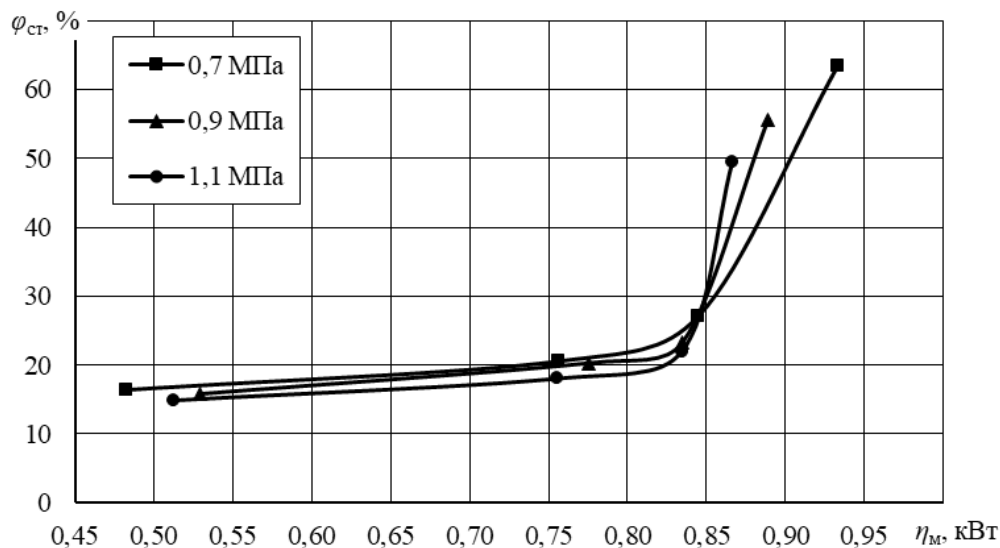


Рисунок 4 – Графік залежності частки теплових втрат $\varphi_{ст}$ від ККД механічних втрат пневмодвигуна на різних режимах роботи

Висновки

Розрахункове дослідження дає змогу стверджувати, що частка теплових втрат у пневмодвигуні із золотниковим механізмом газорозподілу повітря безпосередньо залежить від часу, за який здійснюється 1 повний робочий цикл.

Результати дослідження дозволяють встановити взаємозв'язок між кількістю теплоти робочого тіла, що не перетворюється у корисну роботу, та тривалістю робочого циклу пневмодвигуна, а також ККД механічних втрат.

Дані дослідження дають змогу покращити робочий процес пневмодвигуна з точки зору теплових втрат за рахунок використання найбільш ефективних режимів роботи.

Література

1. **Воронков А. И., Никитченко И. Н.** Рабочий процесс автомобильного пневмодвигателя : монография. Харьков : ХНАДУ, 2015. 200 с. ISBN 978-966-303-549-9.
2. **Brejaud P. et al.** Convective Heat Transfer in a Pneumatic Hybrid Engine. *Oil & Gas Science and Technology*. 2011. Vol. 66, no. 6. P. 1035–1051.
3. **Nikitchenko I., Trofimenko D., Abramchuk F.** Heat transfer from the working fluid in an air motor with a spool air distribution mechanism. *Automobile transport*. 2025. № 57. P. 39–45. DOI: <https://doi.org/10.30977/AT.2219-8342.2025.57.0.05>.
4. **Воронков О. І.** Методологія організації робочого процесу пневмодвигуна комбінованої енергетичної установки міського автомобіля : дис. ... д-ра техн. наук : 05.05.03. Харків, 2017. 393 с.

УДК 621.4

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ДВИГУНА 6ЧН8,4/8,96 (BMW M54B30) ONLINE ЗАСОБОМ BLITZ-PRO

Мінчев Дмитро Степанович, док. техн. наук, професор кафедри «Суднові енергетичні системи і комплекси», Одеський морський національний університет Міністерства освіти і науки України,

e-mail: misaidima@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5960-3063

Кузьменко Анатолій Петрович, канд. техн. наук, доцент кафедри ДВЗ,

Харківський національний автомобільно-дорожній університет,

e-mail: kuzmatolja@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4029-4010

Пашков Вадим Геннадійович, магістр,

Харківський національний автомобільно-дорожній університет,

e-mail: motocrosspart@gmail.com

Швидич Володимир Анатолійович, здобувач-магістрант,

Харківський національний автомобільно-дорожній університет,

e-mail: vladymyr.shvydych@gmail.com

Одним із важливих етапів проектування або доводки двигуна є дослідження робочого процесу. При цьому можуть застосовуватися широко відомі фізичні або математичні моделі і методи, які відрізняються складністю, ресурсними витратами та ін. В цьому контексті, математичні моделі, які знайшли відображення в сучасних програмних комплексах таких як AVL [1], Amesim [2], Blitz-Pro [3], мають суттєві переваги з точки зору економії часових та матеріальних ресурсів.

Програмний комплекс Blitz-PRO призначений для онлайн-розрахунків робочих циклів двигунів внутрішнього згоряння. Рішення базується на моделі SaaS (програмне забезпечення як сервіс), що виключає потребу в локальній інсталяції. Весь масив вхідних даних та результатів обчислень зберігається в