

ЕНЕРГЕТИЧНЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 004.9

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2025.108.0.186

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ЗВОРОТНОГО СТИСНЕННЯ
НА ІНДИКАТОРНІ ПОКАЗНИКИ ПОРШНЕВОГО ПНЕВМОДВИГУНАГ. Є. Філатова¹, О. І. Воронков², В. В. Кривда³, А. М. Авраменко^{2,4}¹Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»²Харківський національний автомобільно-дорожній університет³Національний ТУ «Дніпровська політехніка»⁴Інститут енергетичних машин і систем ім. А. М. Підгорного НАН України

Анотація. Наведено результати розрахункового дослідження робочого процесу пневмодвигуна за статичним методом. Досліджено вплив на індикаторні показники пневмодвигуна ступеня зворотного стиснення та показника політропи стиснення. Визначено, що ранній початок зворотного стиснення призводить до втрати потужності, а пізній – підвищує витрати стисненого повітря.

Ключові слова: пневмодвигун, робочий процес, індикаторна діаграма, зворотне стиснення, показник політропи.

Вступ

Однією з актуальних проблем сучасного автомобілебудування є створення економічних та екологічних транспортних засобів. Підвищенню екологічних та економічних показників транспортних засобів сприяє застосування гібридних автомобілів, у яких додатковий двигун працює на тих режимах, на яких двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) працює не ефективно (торкання з місця, розгінні режими, рух з малими навантаженнями, наприклад, у пробках).

Застосування гібридних двигунів дозволяє не лише знизити витрати палива, а й значно скоротити викиди токсичних речовин відпрацьованих газів.

Аналіз публікацій

У публікаціях [1–4] та в інших зазначено, що поширення набувають гібридні установки, що складаються з ДВЗ та електричної машини з акумуляторною батареєю. Ця комбінація дозволяє долати великі відстані без дозаправки електроенергією та кардинально знизити витрату палива та кількість шкідливих викидів автомобілями під час руху за міським циклом.

Залежно від співвідношення потужностей двигунів, які застосовуються в гібридній установці, можна налаштовувати транспортний засіб на різні режими руху.

ДВЗ працює тільки на економічних та екологічних режимах, водночас за умови надлишку потужності здійснюється рекуперация енергії і відбувається заряджання акумулятор-

ної батареї. На цих режимах рух транспортного засобу здійснюється за допомогою електромотора. Гібридні установки з електродвигуном і ДВЗ виробляють майже всі провідні автомобілебудівні компанії світу [5–10], їхнє серійне виробництво досягло сотні тисяч штук на рік.

Однак, крім електропривода, застосовується й пневмопривод [10–15]. І якщо електрогібриди використовують у районах, не забезпечених підзарядними станціями (у міських умовах добре зарекомендували себе електромобілі), то для пневматичних двигунів (ПД) (завдяки малій щільності енергії стисненого повітря та складності зберігання його запасів на борту транспортного засобу) використання їх на гібридних автомобілях є актуальним питанням, зокрема тоді, коли ПД і ДВЗ розміщені в одному корпусі.

Мета та постановка завдання

Метою роботи є дослідження впливу параметрів процесу зворотного стиснення на індикаторні показники поршневого ПД.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: провести розрахункові дослідження робочих процесів ПД, визначити рівень впливу ступеня зворотного стиснення та коефіцієнта політропи стиснення на його індикаторні показники.

**Робочий процес поршневого
пневмодвигуна**

Кафедра ДВЗ ХНАДУ продовжує дослідження ефективності різних схем гібридних установок з ПД, зокрема схеми з різними

повітророзподільними механізмами [16]. Детальне вивчення робочих процесів ПД і впливу окремих параметрів на їхні показники з клапанною системою повітрярозподілу має практичний інтерес.

Виробництво поршневих ПД здійснювалось і раніше спеціалізованими підприємствами для спеціальних машин гірничої промисловості [16]. Радіально-поршнєві ПД випускалися в зірковому розташуванні циліндрів.

У табл. 1 подано інформацію про чотири- та п'ятициліндрові серійні радіально-поршнєві ПД. Крім даних щодо радіальних поршневих ПД, у табл. 1 для порівняння наведено також параметри близького за літражем V_L бензинового ДВЗ 4Ч 9,2/9,2 автомобіля класу M_2 і експериментального ПД.

Проаналізувавши табл. 1, можна дійти висновків, що поршнєві ПД мають низькі значення середньої швидкості поршня $c_n = 1,6 \div 3,2$ м/с і низького середнього ефективного тиску $p_e = 0,23 \div 0,28$ МПа з порівняння ДВЗ ($c_n = 13,8$ м/с і $p_e = 0,802$ МПа). ПД мають порівняно низьку літрову потужність $N_{лпд} = 3 \div 6$ кВт/л ($N_{лдвз} = 30,1$ кВт/л) і більшу питому металомісткість $M_N = 6,3 \div 15,1$ кг/кВт ($M_N = 2,45$ кг/кВт).

Вітчизняні та закордонні радіально-поршнєві ПД і ПД інших типів мають питому витрату стисненого повітря $g_i = 77 \div 93$ кг/(кВт·год).

Такі показники пояснюють втратами через недосконалість конструкцій ПД (великі втрати тиску в приладах повітрярозподілу, мала ступінь розширення, великі витоки повітря, великий мертвий об'єм тощо).

Для подальших розрахункових досліджень було вибрано конвертований бензиновий поршневий двигун 4Ч 9,2/9,2. У поршневому ПД з клапанним повітрярозподілом є можливість регулювання ступеня наповнення та ступеня зворотного стиснення.

Регульований ступінь наповнення та зворотного стиснення дозволяє застосувати регульовану зміну фаз розподілу повітря, що дає можливості для оптимізації робочого процесу.

У ПД є й інші переваги:

- має найбільший пусковий момент, що в 1,8 раза перевищує номінальний крутний момент;
- має найбільш сприятливу тягову характеристику;
- допускає перевантаження;
- має низькі витоки стисненого повітря (завдяки високому ступеню ущільнення поршневих кілець).

Управління ПД можна здійснювати як завдяки тривалості процесу наповнення, так і завдяки зміні тиску стисненого повітря на впуску.

Таблиця 1 – Показники радіально-поршневих пневмодвигунів і бензинового двигуна 9,2/9,2

Показники	Марки пневмодвигунів				ДВЗ 9,2/9,2	ПД 9,2/9,2
	П7,5-12	П16-25	П2,5-Ф1	П6,3-12		
Робочий обсяг циліндрів (літраж), V_L , л	2,613	2,613	2,613	2,090	2,445	2,445
Тиск стиснутого повітря на вході, p_1 , МПа	0,4	0,5	0,5	0,4	–	0,7
Номінальна потужність, N_e , кВт	7,5	16	9,5	6,3	73,5	7,67
Номінальна частота обертання, n , хв ⁻¹	750	1500	800	750	4500	800
Середня швидкість поршня, S_p , м/с	1,625	3,250	1,733	1,625	13,8	2,45
Питома масова витрата стиснутого повітря, g , кг/(кВт·год)	83,2	92,8	77,3	80,9	пальне 0,307	61,2
Годинна витрата повітря, G , кг/год	624	1485	734	510	пальне 22,6	156
Діаметр циліндра, D , мм	101,2	101,2	101,2	101,2	92	92
Рух поршня, S , мм	65	65	65	65	92	92
Кількість циліндрів, z	5	5	5	4	4	4
Літрова потужність, N_L , кВт/л	2,87	6,12	6,63	3,01	30,1	3,13
Питома металомісткість, M_N , кг/кВт	12,7	6,3	10,5	15,1	2,45	23,45
Середній ефективний тиск, p_e , МПа	0,229	0,245	0,272	0,241	0,802	0,185
Маса, $M_{дв}$, кг	95	100	100	95	180	180

Індикаторна діаграма ПД

Проаналізувавши роботи [16–18] ми визначили, що для поршневого ПД найбільш доцільним є шестипроцесорний робочий цикл (рис. 1): 4–1 – впуск (заповнення шкідливого простору V_0); 1–1' – наповнення (об'єму V_1); 1'–2' – розширення (адіабатне за умови сухого повітря з показником $n_p = k = 1,4$; адіабатне за умови вологого повітря (відносної вологості $\phi = 100\%$ з показником $n_p = 1,32$); 2'–2 – вихлоп (самовільне витікання робочого тіла під дією змінної різниці тисків $p_2' - p_2$); 2–3 – виштовхування (витікання робочого тіла під дією поршня); 3–4 – зворотне стиснення (адіабатне з показником $n_c = k = 1,4$ для сухого повітря внаслідок того, що вся волога до моменту початку процесів сконденсувалася).

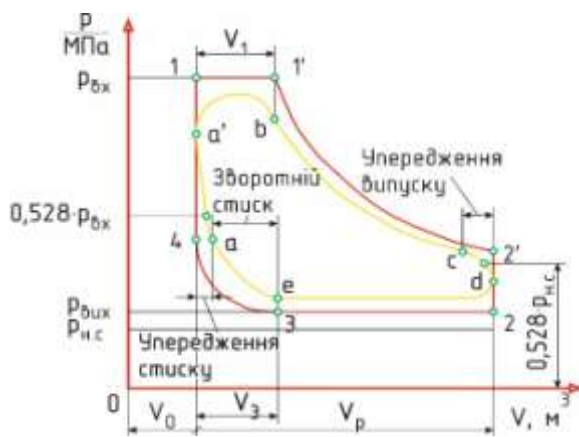


Рис. 1. Теоретична та дійсна індикаторні діаграми

Згідно з рис. 1 за заданої величини робочого об'єму V_p конфігурація статичної моделі визначається шістьма параметрами: двома режимними (p_1 і p_2) та чотирма конструктивними (V_p , V_0 , V_1 , V_3). Якщо величини V_0 , V_1 та V_3 поділити на об'єм робочої камери V_p , то отримаємо три безрозмірні параметри:

$\varepsilon_0 = V_0 / V_p$ – відносний шкідливий простір;

$\varepsilon_1 = V_1 / V_p$ – ступінь наповнення;

$\varepsilon_3 = V_3 / V_h$ – ступінь зворотного стиснення.

З числа конструктивних параметрів лише ці три безрозмірні впливають на конфігурацію статистичної моделі (рис. 1).

Величина протитиску на випуску p_2 є малозмінною. Вона визначається гідравлічним опором глушника шуму на випуску. Відповідно до чисельних експериментальних даних для ефективного глушника вихлопу рівень p_2 мало відрізняється від значення 0,12 МПа на режимах максимальної потужності ПД. Тому правильно розрахувати робочий процес

для режимів максимальної (номінальної) потужності ПД можна в тому випадку, якщо визначити значення $p_{2н} = 0,12$ МПа як константу тиску під час випуску.

У зв'язку із цим у розрахункових дослідженнях можна зазначити, що на статичну модель робочого процесу ПД впливає тільки один режимний параметр – тиск p_1 , що дорівнює тиску на вході у двигун $p_{вх}$.

Розрахункові дослідження

Основні параметри двигуна наведено в табл. 1.

Ступінь стиснення було залишено без змін за наявності незміненої камери згоряння (для режиму роботи ДВЗ). Тиск стисненого повітря на вході становив $p_{вх} = 0,7$ МПа. Оберти ПД дорівнювали $n = 400$ хв⁻¹. Ступінь наповнення $\varepsilon_1 = 1$.

Для двигунів із золотниковим механізмом повітрярозподілу ступінь зворотного стиснення ε_3 є незмінним конструктивним параметром. Для ПД з електрогідрокерованими клапанами ступінь зворотного стиснення ε_3 є фактором керування робочими процесами. Ступінь зворотного стиснення ε_3 варіюється в широких межах.

Якщо $\varepsilon_3 = 0$, зворотне стиснення відсутнє й індикаторна робота максимальна, у цьому випадку споживання стисненого повітря значно збільшується через заповнення об'єму камери згоряння в разі перебування поршня у ВМТ.

Максимального значення ступінь стиснення ε_3 має тоді, коли тиск стиснення p_4 не перевищує тиску наповнення стисненим повітрям p_1 .

Розрахункові дослідження були проведені за фіксованих ступенях шкідливого простору ε_0 та ступеня наповнення $\varepsilon_1 = 1$. Результати розрахунку наведено в табл. 2 та на рис. 2–4.

Таблиця 2 – Параметри робочого процесу пневмодвигуна за $p_1 = 0,7$ МПа, $p_2 = 0,12$ МПа, $\varepsilon_1 = 1$, $\varepsilon_0 = 1$ та за різних ε_3

ε_3	n_c	L_i кДж	P_i МПа	N_i кВт	G_2	g_i
0,1	1,32	0,31	0,51	2,56	157	61,3
0,2	1,32	0,293	0,479	2,42	151	62,2
0,3	1,32	0,277	0,453	2,29	145	63,2
0,5	1,32	0,244	0,399	2,01	133	6,55

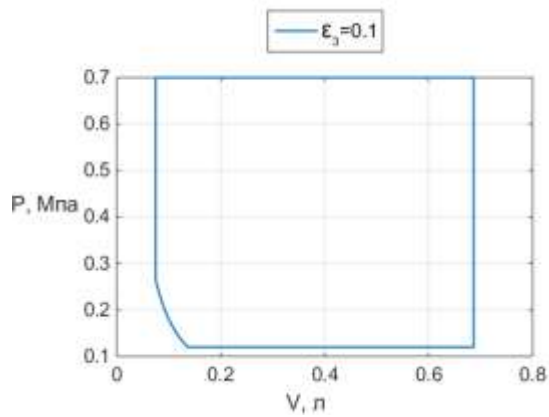


Рис. 2. Індикаторна діаграма пневмодвигуна за умов, якщо $\epsilon_3 = 0,1$; $L_i = 0,2563$ кДж; $N_i = 2,1184$ кВт; $g_i = 38,178$ г/кВтгод;

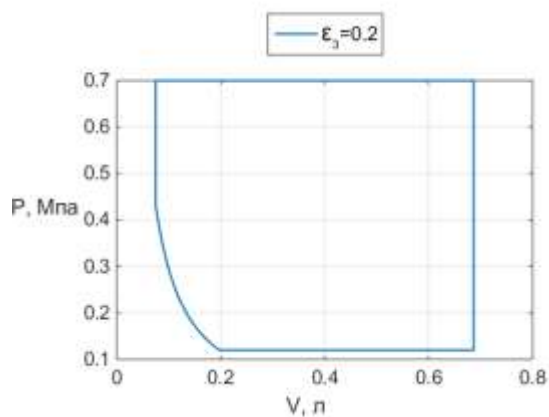


Рис. 3. Індикаторна діаграма пневмодвигуна за умов, якщо $\epsilon_3 = 0,2$; $L_i = 0,248$ кДж; $N_i = 2,049$ кВт; $g_i = 36,516$ г/кВтгод;

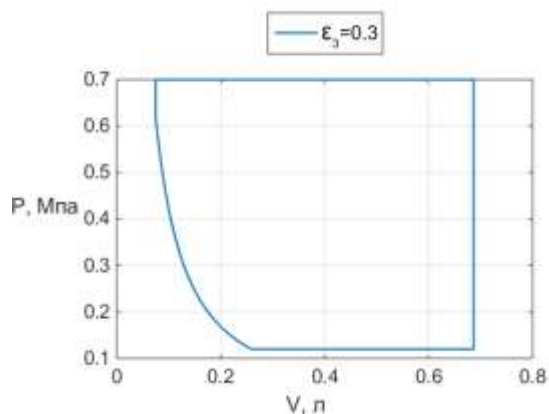


Рис. 4. Індикаторна діаграма пневмодвигуна за умов, якщо $\epsilon_3 = 0,3$; $L_i = 0,2397$ кДж; $N_i = 1,981$ кВт; $g_i = 34,738$ г/кВтгод

За результатами досліджень були підтверджені якісний і кількісний типи протікання робочих процесів ПД. Зі збільшенням ступеня зворотного стиснення ϵ_3 зменшувались площі індикаторної діаграми ϵ_3 та індикатор-

ної потужності N_i . Одночасно зменшувалась індикаторна витрата стисненого повітря g_i .

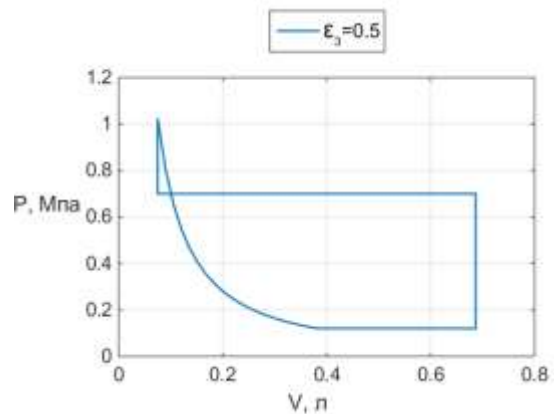


Рис. 5. Тиск зворотного стиснення перевищує тиск впуску

До факторів, що впливають на процес зворотного стиснення, належить показник політропи n_c .

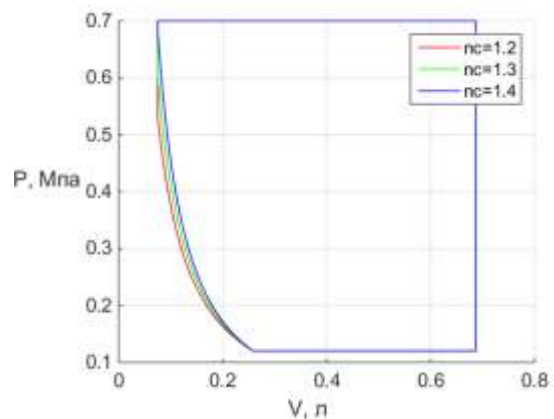


Рис. 6. Індикаторна діаграма з різними показниками політропи n_c (ступінь зворотного стиснення ϵ_3)

Значення показника політропи n_c в процесі стиснення є змінним і залежить від типу теплообміну з урахуванням прийнятої системи охолодження, частоти обертання (часу, протягом якого відбувається теплообмін), конструктивних особливостей двигуна та теплопровідності матеріалу поршня, головки циліндрів і гільзи. Під час розрахунку приймаємо його середнє значення з огляду на всі вищезазначені.

Під час розрахування робочого циклу ПД із повним навантаженням і за максимальної частоти обертання попередні його значення знаходяться в межах $n_1 = 1,3-1,38$. Отже, $n_1 = 1,32$.

На рис. 6 наведено ступінь зворотного стиснення $\varepsilon_3 = 0,3$ з різними показниками політропи n_c . Чим нижче крива з показником n_c , тим більше площа індикаторної діаграми.

Варто зазначити, що наведені на рис. 1–4 залежності ε_3 , визначені розрахунковим методом, є універсальними та придатними для будь-якого поршневого ПД, незалежно від таких його параметрів, як розміри робочого об'єму V_p , діаметр циліндра D , рух поршня S , співвідношення S/D , частота обертання колінчастого вала та температура стисненого повітря на вході.

Висновки

Проведено розрахункове дослідження впливу параметрів процесу зворотного стиснення на індикаторні показники поршневого ПД.

Визначено вплив ступеня зворотного стиснення та коефіцієнт політропи стиску на показники ПД.

Наведено розрахункові індикаторні діаграми та запропоновано математичні залежності, які лежать в основі методики розрахункового дослідження щодо впливу процесу зворотного стиснення на здійснення максимальної роботи та мінімальної питомої витрати стисненого повітря.

Регулювання робочого процесу можна здійснювати як збільшенням ступеня наповнення, так і варіюванням ступеня зворотного стиску.

Найбільша робота отримана за показника ступеня зворотного стиснення $n_c = 1,32$.

Отримані розрахункові дані дозволяють визначити процеси, що здійснюються в ПД, і ступінь ефективності роботи ПД.

Отримані результати свідчать про те, що показники конвертованого ПД (наявність об'єму камери згоряння для роботи в режимі ДВЗ) знаходяться на рівні ПД, що випускаються серійно.

Література

1. Wakefield E. H. History of the Electric Automobile: Hybrid Electric Vehicles, Society of Automotive Engineers (SAE). Warrendale. PA. 1998. ISBN: 0-7680-0125-0.
2. Karner D., Francfort J. Hybrid and plugin hybrid electric vehicle performance testing by the US Department of Energy Advanced Vehicle Testing Activity. Journal of Power Sources 174. 2007. 69–75. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2007.06.069>
3. Comparison of three electrochemical energy buffers applied to a hybrid bus power train with

- simultaneous optimal sizing and energy management / N. Hu et al. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 15. 2014: 11931205. <http://dx.doi.org/10.1109/TITS.2013.2294675>.
4. Husain I. Electric and Hybrid Vehicles: Design Fundamentals. <http://www.gbv.de/dms/tib-ub-hannover/624854663>.
5. Assum, T. Ladbare hybridbiler: Vil folk kjøpe dem og lade dem? (Plug-in hybrid vehicles: Will people buy them and recharge them?) Samferdsel. 2011. N 5. P. 18. Institute of Transport Economics, Oslo.
6. Axsen J., Kurani K. S. Who can recharge a plug-in electric vehicle at home? Transportation Research Part D 17. 2012. 349–353.
7. Baptista P., Rolim C., Silva C. Plugin Vehicle Acceptance and Probable Utilization Behaviour. Journal of Transportation Technologies. 2012. 2. 67–74.
8. Davies J., Kurani K. S. Recharging Behavior of Households Plug-in Hybrid Electric Vehicles. Observed Variation in Use of Conversions of 5-kW-h Blended Plug-In Hybrid Electric Vehicle. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. No. 2191. Transportation Research Board of the National Academies, Washington D.C. 2010. P 75–83.
9. Mainstream consumers driving plug-in battery-electric and plug-in hybrid electric cars. A qualitative analysis of responses and evaluations / E. Graham-Rowe et al. Transportation Research Part A 46. 2012. 140–153.
10. Strøm til biler (Electricity for cars) / A. Gilja et al. TOI-report 1160/2011. Institute of Transport Economics. Oslo.
11. Potentials of Hybridized Commercial Vehicles. Christian Beidl, Magnus Schmitt, Matthias Kluin, Bernd Lenzen. MTZ. 2011. № 6 P. 432–437.
12. High performance pneumatic hybrid engine with cost-effective valvetrain. Michael Bütikofer. MTZ. 2011. № 2. P. 54–58.
13. Tekhnichni hybridization concept for downsizing and supercharging gasoline engines / L. Guzzella et al. MTZ #71. 01/2010. P. 38–44.
14. Bütikofer M. High performance pneumatic hybrid engine with cost-effective valvetrain. MTZ #72. 02/2011. P. 54–58.
15. Study of a single-valve reproccating expander / X. Zang et al. J Energ Inst. 2016. 89. 400–413.
16. The concept of creating a pneumatic engine for a car: a monograph / O. I. Voronkov et al. Kharkiv: KNAHU, 2019. 256 p.
17. Тесленко Е. В. Регулювання потужності автомобільного пневмодвигуна комбінованої енергетичної установки (КЕУ). Енергетичні установки та альтернативні джерела енергії: зб. тез та доп. міжнар. конф. (11–12 березня 2024 р.). Харків: ХНАДУ, 2024. С. 239–241.
18. Тесленко Е. В. Результати випробувань пневмодвигуна з комбінованою клапанною системою повітророзподілу. Матеріалознавство та технології: міжнар. наук.-техн. конф. Харків. ХНАДУ, 2022. С. 184–187.

References

- Wakefield, E. H. (1998). History of the Electric Automobile: Hybrid Electric Vehicles, Society of Automotive Engineers (SAE), Warrendale, PA. ISBN: 0-7680-0125-0.
- Karner D., Francfort J. (2007). Hybrid and plugin hybrid electric vehicle performance testing by the US Department of Energy Advanced Vehicle Testing Activity. Journal of Power Sources 174. 69–75. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2007.06.069>
- Hu, X., Murgovski, N., Johannesson, L. M., Egardt, B. (2014). Comparison of three electrochemical energy buffers applied to a hybrid bus power train with simultaneous optimal sizing and energy management. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 15. 11931205. <http://dx.doi.org/10.1109/TITS.2013.2294675>.
- Husain, I. (2021). Electric and Hybrid Vehicles: Design Fundamentals. <http://www.gbv.de/dms/tib-ub-hannover/624854663>.
- Assum, T. (2011) Ladbare hybridbiler: Vil folk kjøpe dem og lade dem? (Plug-in hybrid vehicles: Will people by them and recharge them?) Samferdsel. N. 5. P. 18. Institute of Transport Eco-nomics, Oslo.
- Axsen, J. and Kurani, K.S. (2012). Who can recharge a plug-in electric vehicle at home? Transportation Research Part D 17. 349–353.
- Baptista, P. Rolim, C., Silva, C. (2012). Plugin Vehicle Acceptance and Probable Utilization Behaviour. Journal of Transportation Technologies. 2. 67–74.
- Davies, J. and Kurani, K. S. (2010). Recharging Behavior of Households Plug-in Hybrid Electric Vehicles. Observed Variation in Use of Conversions of 5-kW-h Blended Plug-In Hybrid Electric Vehicle. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. No. 2191. Transportation Research Board of the National Academies, Washington D.C. P. 75–83.
- Graham-Rowe, E., Gardner, B., Abraham, C., Skippon, S., Dittmar, H., Hutchins, R., Stannard, J. (2012). Mainstream consumers driving plug-in battery-electric and plugin hybrid electric cars. A qualitative analysis of responses and evaluations. Transportation Research Part A 46. 140–153.
- Gilja, A. (2009). Soria Moria II: Energi. Of-fshore. No. 8.10.2009. Oslo Hagman, R., Assum, T. and Amundsen, A.H. (2011). Strøm til biler (Electricity for cars). TOI-report 1160/2011. Institute of Transport Economics. Oslo.
- Potentials of Hybridized Commercial Vehicles. Christian Beidl, Magnus Schmitt, Matthias Kluin, Bernd Lenzen. MTZ. 2011. № 6. P. 432–437.
- High performance pneumatic hybrid engine with cost-effective valvetrain. Michael Butikofer. MTZ. 2011. № 2. P. 54–58.
- Guzzella, L., Onder, C., Donitz, C., Voser, C., Vasile I. (2010). Tekhnichni hybridization concept for downsizing and supercharging gasoline engines. MTZ #71. 01. P. 38–44.
- Butikofer, M. (2011). High performance pneumatic hybrid engine with cost-effective valvetrain. MTZ. #72. 02. P. 54–58.
- Zang, X, Xu, Y, Xu, J, et al. (2016). Study of a single-valve reciprocating expander. J Energ Inst. 89. 400–413.
- Voronkov, O. I., Hlushkova, D. B., Hnatov, A. V., Karpenko, V. O., Teslenko, E. V. and others. (2019). The concept of creating a pneumatic engine for a car: a monograph. Kharkiv: KNAHU, 2019. 256 p.
- Teslenko, E. V. (2024). Rehuliuвання potuzhnosti avtomobilnoho pnevmodyhuna kombinovanoi enerhetychnoi ustanovky (KEU). Enerhetychni ustanovky ta alternatyvni dzherela enerhii: zb. tez ta dop. mizhnar. konf. (11–12 bereznia). Kharkiv: KhNADU, 2024. S. 239–241.
- Teslenko, E. V. (2022). Rezultaty vyprobuvan pnevmodyhuna z kombinovanoi klapannoiu systemoiu povitrorozpodilu. Mate-rialsoznavstvo ta tekhnologii: mizhnar. nauk.-tekhn. konf. Kharkiv. KhNADU. S. 184–187.

Філатова Ганна Євгенівна¹, доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерної інженерії та програмування,
ORCID 0000-0003-1982-2322;

Hanna.Filatova@khpri.edu.ua,
тел. +38 098 778 14 45,

Воронков Олександр Іванович², д.т.н., проф. каф. двигунів внутрішнього згоряння,
ORCID 0000-0003-2744-7948,
dralexadi@gmail.com,

тел. +38 050 583 00 45,

Кривда Віталій Валерійович³, к.т.н., доц., завідувач кафедри автомобілів та автомобільного господарства, ORCID: 0000-0002-8304-2016.
тел. +38 (050) 920-80-80

Авраменко Андрій Миколайович^{2,4}, д.т.н., с.д., професор кафедри ДВЗ, пров. наук. співр. відділу термогазодинамії енергетичних машин,
an0100@ukr.net, orcid 0000-0001-8130-1881,
тел. +38 067-944-64-75.

¹Національний технічний університет «ХПІ», вул. Кирпичова, 2, Харків, 61002, Україна,

²Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна,

³Національний ТУ «Дніпровська політехніка», проспект Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, 49005, Україна,

⁴Інститут енергетичних машин і систем ім. А. М. Підгорного НАН України, вул. Комунальників, 2/10, м. Харків, 61000, Україна

Inflection of parameters in the process of curse stress on the indicators of a piston air motor

Problem. *One of the pressing problems of modern automotive industry is the creation of economical and environmentally friendly vehicles. One of the ways to increase these indicators is*

through the use of hybrid cars, in which the additional engine operates in those modes where the internal combustion engine operates inefficiently (starting from a standstill, acceleration modes, movement with low loads, for example, in traffic jams). The use of hybrid engines allows not only to reduce fuel consumption, but also to significantly reduce emissions of toxic substances in exhaust gases. **Goal.** The goal of the work is to study the influence of the parameters of the back compression process on the indicator indicators of a piston air engine. **Methodology.** Using the analytical method, the influence of the degree of reverse compression on the indicator indicators of the air motor was calculated using a static model. The mathematical apparatus MatLab was used in the calculation. **Results.** The relationship between the degree of reverse compression of the bellows and the indicator work and the indicator air flow rate is revealed. Graphs of the dependence of these quantities are given. **Originality.** A mathematical model for a pneumatic engine with a valve air distribution mechanism as part of a hybrid vehicle power plant is proposed. **Practical value.** The use of the proposed method for calculating the working processes of an air motor will allow determining the necessary indicator indicators at the stage of its design. **Key words:** air motor, degree of reverse compression, indicator diagram, indicator indicators.

Anna Filatova¹, Ph.D., Professor of Computer Engineering and Programming Department
Hanna.Filatova@khpi.edu.ua,
ORCID: 0000-0003-1982-2322,
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" tel. +38 (098) 778-14-45

Oleksandr Voronkov², professor, Doct. of Science, ICE Department, ORCID: 0000-0003-2744-7948, dralexadi@gmail.com, tel. +38 050 583 00 45.

Vitaliy Krivda³, Ph.D., Associate Professor of the Department of Automobiles and Automotive Governance, ORCID: 0000-0002-8304-2016, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine; vitaliykrivda@gmail.co, tel. +38 (050) 920-80-80

Andrii Avramenko^{2,4}, DSc (Engineering), Professor of the Department of ICE, leading researcher of the Department of thermo gas dynamics of power machines, an0100@ukr.net, tel. +38 067-944-64-75,

¹University "Kharkiv Polytechnic Institute", 2, Kyrpychova Str., Kharkiv, 61002, Ukraine

²Kharkiv National Automobile and Highway University, 25 Yaroslava Mudrogo Str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

³Dnipro University of Technology, 19 Dmytro Yavornitsky Ave., Dnipro, 49005, Ukraine.

⁴A.M. Pidgorny Institute of the Problems of Mechanical Engineering, National Academy of Sciences of Ukraine, 2/10 Pozharsky Str., Kharkiv, 61002, Ukraine.