

М.Р. Ткач, О.С. Митрофанов, А.Ю. Проскурін, А.С. Познанський

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ РОТОРНО-ПОРШНЕВОГО ПНЕВМОДВИГУНА ТРАНСПОРТНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

В статті розглянуто альтернативу традиційним транспортним енергетичним установкам – установкам, які працюють на стиснутому повітрі. Головним елементом таких установок є пневмодвигун, від технічної досконалості якого напряму залежать ефективні та експлуатаційні показники всієї установки. Найбільш доцільним є розробка та створення нового надійного й ефективного пневмодвигуна, який відповідає специфіці й задовольняє всі умови експлуатації на транспортному засобі. Роторно-поршневий двигун РПД-4,4/1,75 відповідає всім необхідним вимогам, а саме: має невелику масу та габарити; є реверсивним; ефективно працює у широкому діапазоні тиску на вході в двигун; забезпечує нормальну роботу за різних температур навколишнього середовища. Розроблена принципова схема екологічно чистої транспортної енергетичної установки на базі роторно-поршневого пневмодвигуна РПД-4,4/1,75 з максимальною потужністю 6 кВт. Отримано зовнішні швидкісні характеристики роторно-поршневого пневмодвигуна РПД-4,4/1,75 для діапазону значень робочого тиску повітря у впускному ресивері 1,2...2,0 МПа. Відповідно до отриманих характеристик максимальні значення крутного моменту пневмодвигуна знаходяться при 1100 хв⁻¹, тоді як максимальні значення ефективної потужності – 1400 хв⁻¹. Визначено складові силового балансу та динамічний фактор транспортного засобу для всіх передач і швидкостей руху для діапазону значень робочого тиску повітря у впускному ресивері 1,2...2,0 МПа. Відповідно до отриманих характеристик роторно-поршневого пневмодвигуна РПД-4,4/1,75 разом з трансмісією на першій передачі забезпечують максимальне тягове зусилля 2,1...3,2 кН. Визначено залежності прискорення, часу та шляху розгону транспортного засобу до максимально встановленої швидкості 50 км/год. Так, залежно від тиску повітря у впускному ресивері необхідний час розгону складає від 20,1 до 30,5 с, а шлях розгону – від 200,2 до 309,3 м. Для підвищення експлуатаційних та економічних показників транспортної енергетичної установки запропоновано регулювання робочого тиску повітря у впускному ресивері роторно-поршневого пневмодвигуна.

Ключові слова: роторно-поршневий двигун; транспортна енергетична установка; силовий баланс; тягове зусилля; розгін.

Вступ

На сьогоднішній день автомобільний транспорт з ДВЗ є одним з найпопулярніших способів переміщення. Однак, незважаючи на ряд суттєвих переваг, цей вид транспорту має і свої недоліки. Головними з яких є значне забруднення навколишнього середовища та нестабільна вартість нафтопродуктів.

Альтернативою традиційним транспортним установкам в наш час є установки з екологічно чистими видами енергії – електромобілі [1-3] та гібридні автомобілі [4-6]. Але і вони не досконалі. Поряд з значними перевагами існують і проблеми, які пов'язані з високою їх вартістю, високою тривалістю зарядки, нерозвинутою інфраструктурою та невисокою автономністю.

Конкурентом електричному та гібридному транспорту можуть стати транспортні засоби, які працюють на стиснутому повітрі [7,8], або гібридні з використанням пневмодвигунів. Пневмодвигуни, як і електродвигуни, є екологічно чистими, крім того, існує можливість заправки в домашніх умовах, мають невисоку вартість завдяки простоті конструкції, є можливість застосування рекуператора енергії (наприклад, стиснення і накопичення додаткового повітря за рахунок гальмування автомобіля).

Головним елементом такої транспортної енергетичної установки є пневмодвигун, від технічної

досконалості якого напряму залежать ефективні та експлуатаційні показники всієї установки.

Постановка задачі

Значна кількість публікацій у зарубіжній і вітчизняній літературі щодо використання енергії стиснутого повітря у транспортних установках свідчить про затребуваність та актуальність даного напрямку досліджень, який має високу економічну перспективу.

Найбільш доцільним є розробка та створення нового надійного й ефективного пневмодвигуна, який відповідає специфіці й задовольняє всі умови експлуатації на транспортному засобі, а саме: мати мінімальні масу та габарити; бути реверсивним і мати при цьому однакову ефективність; ефективно працювати у широкому діапазоні тиску на вході в двигун та різних обертах; забезпечувати нормальну роботу за різних температур навколишнього середовища; бути надійним, стійким до перевантажень, легким в експлуатації та дешевим у виготовленні й ремонті.

Роторно-поршневий двигун РПД-4,4/1,75 [9] відповідає всім необхідним вимогам та може бути використаний у складі енергетичної установки транспортного засобу, а дослідження його характеристик і режимів роботи у складі енергетичної установки є дуже важливою та актуальною задачею.

Мета дослідження – розробка транспортної екологічно чистої енергетичної установки на базі

роторно-поршневого пневмодвигуна та визначення її експлуатаційних характеристик. До головних задач дослідження належать:

– розробка принципової схеми транспортної енергетичної установки та підбір відповідного обладнання;

– визначення силового балансу та динамічних характеристик залежно від робочого тиску роторно-поршневого пневмодвигуна;

– оцінка впливу робочого тиску на показники розгону та запас ходу транспортного засобу.

Виклад основного матеріалу

На рис. 1 наведена принципова схема екологічно чистої енергетичної транспортної установки. Основні параметри енергетичної установки подані в табл. 1.

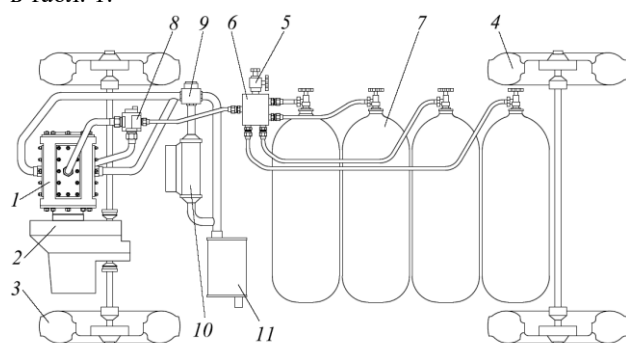


Рис. 1. Принципова схема енергетичної транспортної установки:

1 – роторно-поршковий пневмодвигун; 2 – трансмісія переднього ведучого моста; 3 – колеса переднього ведучого моста; 4 – колеса заднього неведучого моста; 5 – клапан заправки витратних балонів від зовнішнього джерела; 6 – розподільник стиснутого повітря; 7 – балони зберігання стиснутого повітря; 8 – повітряний редуктор з електронним керуванням; 9 – клапан перепуску відпрацьованого повітря; 10 – теплообмінник системи кондиціонування автомобіля; 11 – глушник випуску відпрацьованого повітря

Крутний момент від роторно-поршневого пневмодвигуна 1 передається через трансмісію переднього ведучого моста 2 на колеса 3. Живлення пневмодвигуна здійснюється з витратних балонів 7. Так, стиснуте повітря з витратних балонів через розподільник стиснутого повітря 6 поступає до повітряного редуктора з електронним керуванням 8, звідки під необхідним робочим тиском надходить до впускного ресивера роторно-поршневого пневмодвигуна. Наповнення балонів стиснутим повітрям здійснюється через клапан заправки 6. На борту транспортного засобу може бути встановлено від двох до чотирьох балонів об'ємом 0,1 м³ кожний з тиском зберігання повітря 35 МПа. Для зменшення ваги енергетичної установки балони

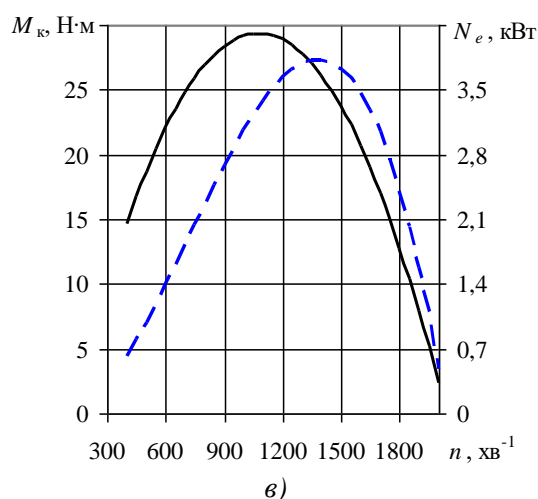
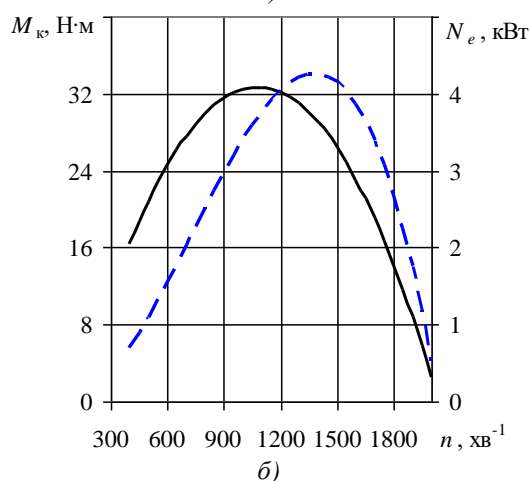
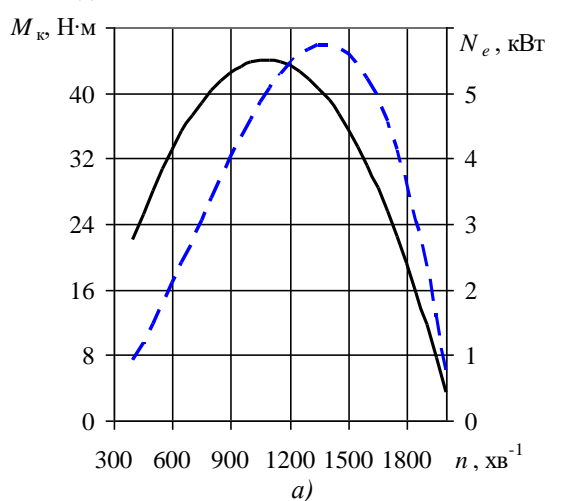
можуть бути виконані з вуглепластика та кевларовою оболонкою.

Таблиця 1. Технічні характеристики автомобіля та енергетичної установки з роторно-поршневим пневмодвигуном

№ з. п.	Параметр	Значення
1	Діаметр циліндра пневмодвигуна D , мм	44
2	Хід поршня пневмодвигуна S , мм	17,5
3	Відношення S/D	0,4
4	Кількість циліндрів	12
5	Робочий об'єм V_s , см ³	320,6
6	Відносний мертвий об'єм	0,015
7	Ефективна потужність (при $P_s = 2,0$ МПа) N_e , кВт	6
8	Максимальний крутний момент (при $P_s = 2,0$ МПа) M_k , Н·м	44
9	Робочий тиск P_s , МПа	2,0...1,2
10	Максимальна частота обертання центрального ротора n , хв ⁻¹	2000
11	Об'єм балона для зберігання стиснутого повітря V , м ³	0,1
12	Кількість балонів i_b	2...4
13	Вага балона m_b , кг	35
14	Максимальний тиск повітря у балоні p_b , МПа	35
15	Передавальне число головної передачі $i_{к0}$	5,125
16	Передавальне число коробки передач:	
	– перша $i_{к1}$	4,05
	– друга $i_{к2}$	2,34
	– третя $i_{к3}$	1,4
	– четверта $i_{к4}$	1,0
– п'ята $i_{к5}$	0,85	
17	Статичний радіус колеса транспортного засобу R , м	0,289
18	Габаритні розміри транспортного засобу:	
	– L , м	3,2
	– B , м	1,42
– H , м	1,4	
19	Допустима повна маса транспортного засобу m , кг	720
20	Максимальна швидкість руху $V_{p,max}$, км/год	50

На виході з роторно-поршневого пневмодвигуна відпрацьоване повітря має низькі значення температури та, відповідно, може застосовуватися в теплообміннику 10 системи кондиціонування транспортного засобу. Перепуск потоку відпрацьованого повітря між теплообмінником 10 та глушником шуму випуску 11 здійснюється клапаном перепуску 9. Попередні експериментальні дослідження дослідного зразка роторно-поршневого пневмодвигуна РПД-4,4/1,75 без встановленого глушника показали значний рівень шуму випуску, який пере-

вищує санітарні норми, тому використання його є необхідним.



— зміння крутного моменту;
 - - зміння ефективної потужності

Рис. 2. Зовнішня швидкісна характеристика роторно-поршневого пневмодвигуна РПД-4,4/1,75 залежно від робочого тиску стиснутого повітря у впускному ресивері: а – $P_s = 2,0$ МПа; б – $P_s = 1,4$ МПа; в – $P_s = 1,2$ МПа

Відповідно до призначення запропонованого транспортного засобу максимальна швидкість ру-

ху, яку забезпечує енергетична установка, обмежена 50 км/год.

Для розрахунку динамічної характеристики та оцінки показників розгону транспортного засобу необхідно мати швидкісні характеристики роботи пневмодвигуна (тобто залежності змінення крутного моменту та ефективної потужності від обертів). Характер змінення швидкісних характеристик роторно-поршневого пневмодвигуна РПД-4,4/1,75 було отримано експериментальним шляхом для різних значень тиску стиснутого повітря у впускному ресивері. На рис. 2 подана зовнішня швидкісна характеристика роторно-поршневого пневмодвигуна РПД-4,4/1,75 для різних значень робочого тиску P_s у впускному ресивері. Так, залежно від P_s максимальний крутний момент пневмодвигуна знаходиться у межах $M_k = 29 \dots 44$ Н·м, а ефективна потужність – $N_e = 4 \dots 6$ кВт.

Силовий баланс та динамічні характеристики транспортного засобу зазвичай будуються від швидкості автомобіля, а не від обертів пневмодвигуна [10; 11]. Перш за все, швидкість транспортного засобу залежить від змінення обертів пневмодвигуна, а також від постійних складових, таких, як статичний радіус колеса R , передавальне число передачі коробки передач u_{ki} та головної передачі u_{k0} . На рис. 3 наведено графіки силового балансу та динамічні характеристики транспортного засобу з пневмодвигуном для різних значень P_s .

Так, відповідно, до отриманих залежностей роторно-поршневий пневмодвигун РПД-4,4/1,75 у поєднанні з трансмісією у діапазоні змінення $P_s = 1,2 \dots 2,0$ МПа забезпечують максимальне тягове зусилля на першій передачі 2,1...3,2 кН.

Динаміка розгону транспортного засобу характеризується прискоренням, а також часом та відстанню розгону до необхідної швидкості. На рис. 4 подано залежності змінення прискорень та обернених прискорень за різних значень тиску P_s . Значення прискорень для всіх передач та швидкостей було отримано з використанням динамічних характеристик (див. рис. 3) та відомих залежностей [10; 11].

Графіки часу та шляху розгону транспортного засобу з роторно-поршневим пневмодвигуном до максимальної швидкості наведено на рис. 5. Відповідно до отриманих залежностей пневмодвигун при $P_s = 2,0$ МПа забезпечує розгін транспортного засобу до максимальної швидкості за 20,1 с, при цьому шлях розгону становитиме 200,2 м. При зменшенні тиску повітря у впускному ресивері до $P_s = 1,2$ МПа час розгону становитиме 30,5 с, а шлях – 309,3 м. Отже, зниження тиску повітря на 40 % збільшує час розгону транспортного засобу майже на 52 %. Однак зниження робочого тиску у

впускному ресивері забезпечує зменшення витрати стиснутого повітря, тобто фактично збільшує запас ходу. Так, відповідно до експериментальних досліджень дослідного зразка роторно-поршневого пневмодвигуна РПД-4,4/1,75 зниження тиску повітря у впускному ресивері на 50 % забезпечує зниження питомої ефективної витрати повітря на 18,3%.

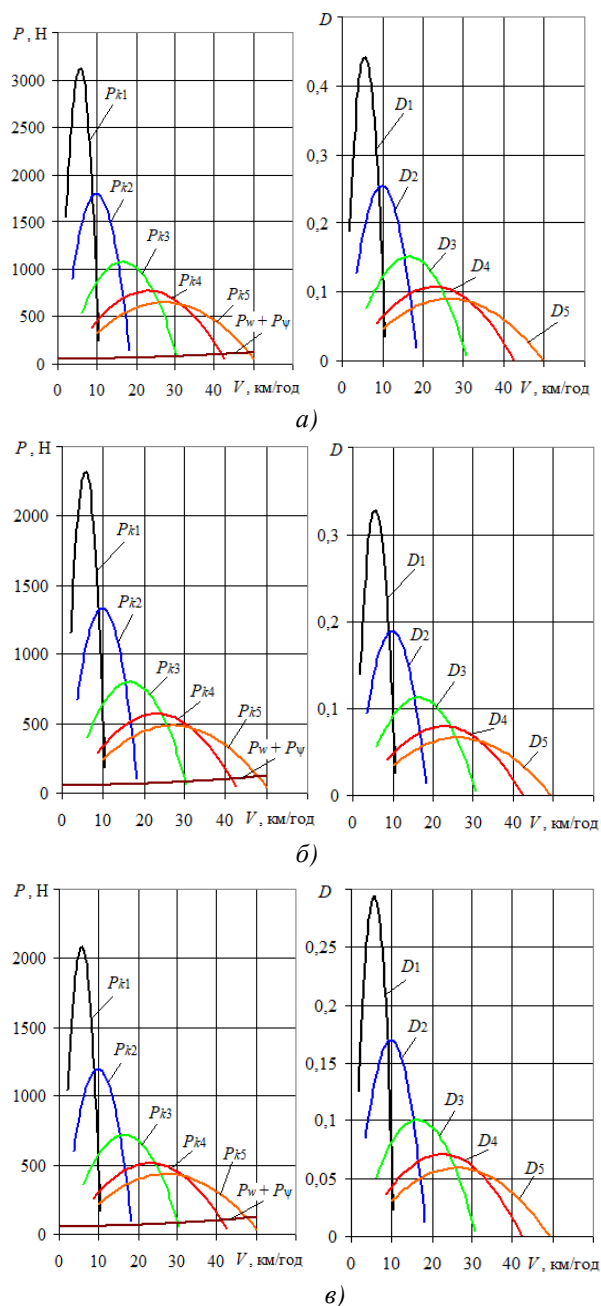


Рис. 3. Силовий баланс та динамічні характеристики транспортного засобу з роторно-поршневим пневмодвигуном РПД-4,4/1,75:
 а – $P_s = 2,0$ МПа; б – $P_s = 1,4$ МПа;
 в – $P_s = 1,2$ МПа

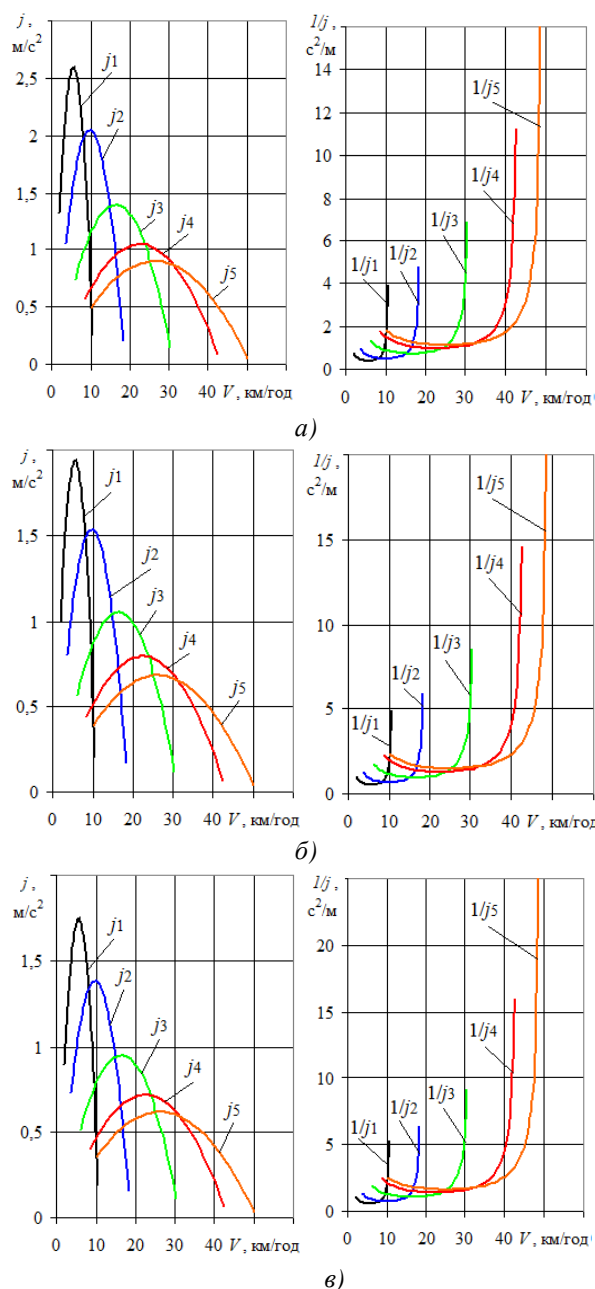
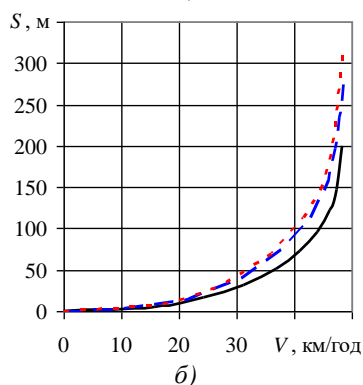
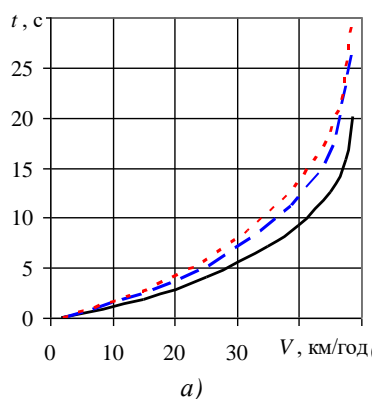


Рис. 4. Характеристики прискорення транспортного засобу з роторно-поршневим пневмодвигуном РПД-4,4/1,75: а – $P_s = 2,0$ МПа; б – $P_s = 1,4$ МПа; в – $P_s = 1,2$ МПа

Забезпечити високі значення крутного моменту при початку руху транспортного засобу та зниження витрати стиснутого повітря можна шляхом регулювання тиску робочого тіла у впускному ресивері пневмодвигуна, тобто поступово знижуючи тиск при наборі швидкості транспортним засобом. Це дозволить отримати прийнятні динамічні характеристики при збільшенні запасу ходу. На рис. 6 подано діапазон змінення крутного моменту та ефективної потужності роторно-поршневого пнев-

модвигуна при змінному значенні робочого тиску у впускному ресивері.



— — $P_s = 2,0$ МПа; — — — — $P_s = 1,4$ МПа;
 - - - - - $P_s = 1,2$ МПа

Рис. 5. Залежності часу та шляху розгону транспортного засобу з роторно-поршневим пневмодвигуном РПД-4,4/1,75: а – час розгону; б – шлях розгону

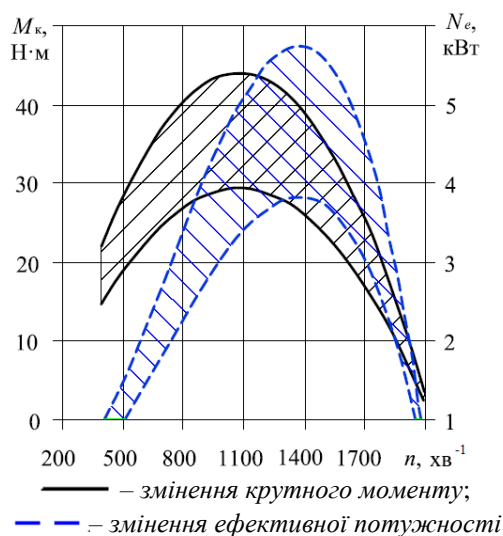


Рис. 6. Діапазон змінення зовнішньої швидкісної характеристики роторно-поршневого пневмодвигуна РПД-4,4/1,75 при змінному значенні P_s

На рис. 7 наведено графіки силового балансу та динамічні характеристики транспортного засобу з пневмодвигуном при змінному значенні P_s .

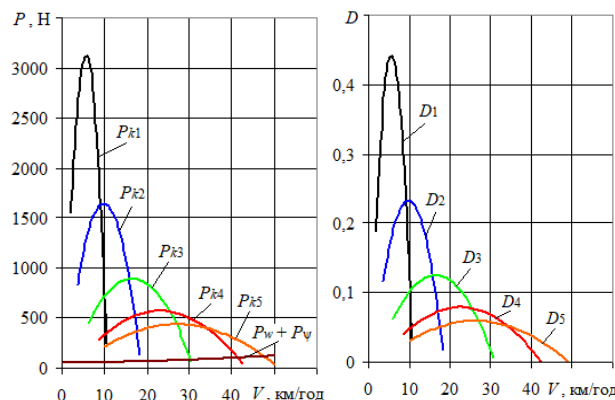


Рис. 7. Силовий баланс та динамічні характеристики транспортного засобу з роторно-поршневим пневмодвигуном РПД-4,4/1,75 при змінному значенні P_s

На рис. 8 подано залежності змінення прискорень та обернених прискорень для всіх передач та швидкостей за змінних значень тиску P_s .

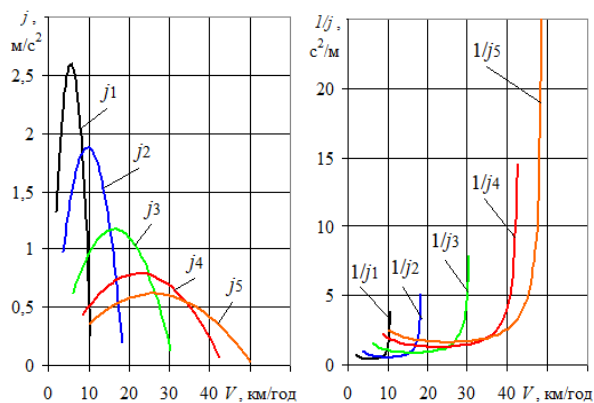


Рис. 8. Характеристики прискорення транспортного засобу з роторно-поршневим пневмодвигуном РПД-4,4/1,75 при змінному значенні P_s

Графіки часу та шляху розгону транспортного засобу до максимальної швидкості при змінному значенні робочого тиску у впускному ресивері наведено на рис. 9.

Відповідно до отриманих залежностей пневмодвигун при змінненні P_s у діапазоні 2,0...1,2 МПа забезпечує розгін транспортного засобу до максимальної швидкості за 28 с, при цьому швидкість 30 км/год досягається за 6,5 с (при $P_s = 1,2$ МПа швидкість 30 км/год досягається за 8 с). Таким чином, регулювання тиску P_s на різних режимах експлуатації роторно-поршневого двигуна є ефективним методом покращення економічних та експлуатаційних характеристик транспортної енергетичної установки.

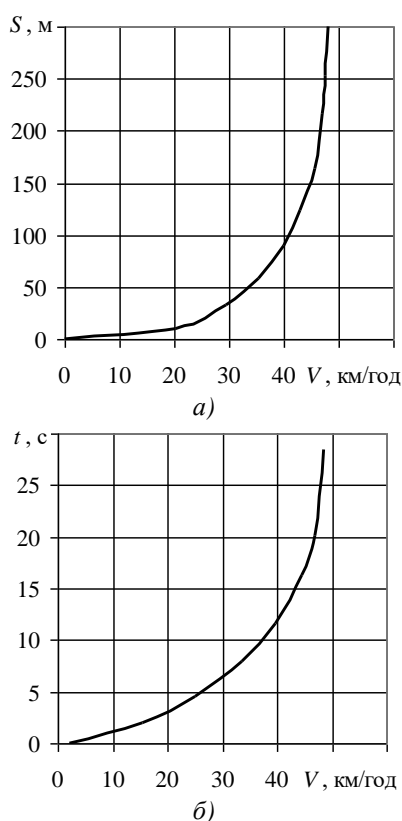


Рис. 9. Залежності часу та шляху розгону транспортного засобу з роторно-поршневим пневмодвигуном РПД-4,4/1,75 при змінному значенні P_s

Висновки

1. Розроблена принципова схема екологічно чистої транспортної енергетичної установки на базі роторно-поршневого пневмодвигуна РПД-4,4/1,75 з максимальною потужністю 6 кВт та максимальним крутним моментом 44 Н·м при робочому тиску повітря у впускному ресивері 2,0 МПа.

2. Отримано зовнішні швидкісні характеристики роторно-поршневого пневмодвигуна РПД-4,4/1,75 для діапазону значень робочого тиску повітря у впускному ресивері 1,2...2,0 МПа. Відповідно до отриманих характеристик максимальні значення крутного моменту пневмодвигуна ($M_k = 29...44$ Н·м) знаходяться при 1100 хв⁻¹, тоді як максимальні значення ефективної потужності ($N_e = 4...6$ кВт) – 1400 хв⁻¹.

3. Визначено складові силового балансу та динамічний фактор транспортного засобу для всіх передач і швидкостей руху для діапазону значень робочого тиску повітря у впускному ресивері 1,2...2,0 МПа. Відповідно до отриманих характеристик роторно-поршневого пневмодвигуна РПД-4,4/1,75 разом з трансмісією на першій передачі забезпечують максимальне тягове зусилля $2,1...3,2$ кН.

4. Визначено залежності прискорення, часу та шляху розгону транспортного засобу до максимально встановленої швидкості 50 км/год. Так, залежно від тиску повітря у впускному ресивері необхідний час розгону складає від 20,1 до 30,5 с, а шлях розгону від 200,2 до 309,3 м, що є достатнім показником даного типу транспортного засобу.

5. Для підвищення експлуатаційних та економічних показників транспортної енергетичної установки запропоновано регулювання робочого тиску повітря у впускному ресивері роторно-поршневого пневмодвигуна, а саме послідовне зниження тиску повітря при розгоні автомобіля.

Список літератури:

1. *Electric surge; Carmakers' car plans across Europe 2019–2025* [Text]. – Transport & Environment. European Federation for Transport and Environment AISBL, 2019. – 39 p.
2. *Environmental Analysis of Petrol, Diesel and Electric Passenger Cars in a Belgian Urban Setting* [Text] / N. Hoofman, L. Oliveira, M. Messagie, T. Coosemans, J.V. Mierlo // *Energies*. – 2016. – Vol. (84). – P. 1-24.
3. *Electrical and Plug-in Hybrid Vehicle Networks: Optimization and Control* [Text] / E. Crisostomi, R. Shorten, S. Stüdl, F. Wirth // Taylor & Francis Group, 2018. – 261 p.
4. Капустин, А. А. Гибридные автомобили [Текст]: учебное пособие / А. А. Капустин, В. А. Раков. – Вологда: ВоГУ, 2016. – 96 с.
5. Петров, Р. Л. На сколько реальные заявленные показатели расхода топлива и эмиссии CO2 для гибридных автомобилей [Текст] / Р. Л. Петров // Журнал автомобильных инженеров. – 2015. – 2 (31). – С. 45-50.
6. Гібридні автомобілі [Текст] / О. В. Бажинов, О. П. Смирнов, С. А. Серіков та ін. – Х.: Крок, 2008. – 327 с.
7. *A review of compressed-air hybrid technology in vehicle system* [Text] / F. Wasbari, R. A. Bakar, L. M. Gan, M. M. Tahir, A. A. Yusof // *Renew Sustain Energy Rev.* – 2017. – No. 67. – P. 935-953.
8. *Design of a compressed air vehicle* [Text] / S. Radhika, D. Swapna, P. Manikanta, S. K. Sunain // *Journal of Refrigeration, Air Conditioning, Heating and Ventilation*. – 2016. – No. 1(3). – P. 1-6.
9. Пат. на винахід України № 120489. Поршнева машина [Текст] / Митрофанов О.С., Шабалін Ю. В., Бірюк Т.Ф., Єфеніна Л.О.; заявл. № а201902189 10.09.2019 р.; 10.12.2019 р. – Бюл. № 23.
10. Филькин, Н. М. Теория транспортных и транспортно-технологических машин [Текст]: учеб. пособие / Н. М. Филькин, Р. Ф. Шаухов, И. П. Буянов. – Пермь: ФГБОУ ВО Пермская ГСХА, 2016. – 230 с.
11. Тяговый расчет автомобиля [Текст]: метод. указания к курсовому проектированию по дисциплине «Конструкция и потребит. свойства автомобилей» / Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых; сост. Р. В. Нуждин. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2018. – 36 с.

Bibliography (transliterated):

1. (2008), *Electric surge; Carmakers' car plans across Europe 2019–2025*, Transport & Environment. European Federation for Transport and Environment AISBL, 39 p.
2. Hoofman, N., Oliveira, L., Messagie, M., T. Coosemans, J.V. Mierlo (2016), «Environmental Analysis of Petrol, Diesel and Electric Passenger Cars in a Belgian Urban Setting», *Energies*, Vol. (84), pp. 1-24.
3. Crisostomi, E., Shorten, R., Stüdl, S., Wirth, F. (2008), *Electrical and Plug-in Hybrid Vehicle Networks: Optimization and Control*, Taylor &

Francis Group, 261 p. 4. Kapustin, A. A., Rakov, V. A. (2016), *Hybrid cars: study guide [Gibridnye avtomobil: uchebnoe posobie]*, VoGU, Vologda, 96 p. 5. Petrov, R. L., (2015), «How realistic are the declared fuel consumption and CO₂ emissions for hybrid car», *Automotive Engineers Journal*, [Na skol'ko real'ny zayavlenyye pokazateli raskhoda topliva i emissii CO₂ dlya gibridnykh avtomobiley, *Zhurnal avtomobil'nykh inzhenerov*], № 2 (31), pp. 45-50. 6. Bazhynov, O. V., Smyrnov O. P., Syerikov S. A., (2008), *Hybrid cars, [Hibrydni avtomobili]*, Krok, Kharkiv, 327 p. 7. Wasbari, F., Bakar, R. A., Gan, L. M., Tahir, M. M., Yusof, A. A., (2017), «A review of compressed-air hybrid technology in vehicle system», *Renew Sustain Energy Rev.*, No. 67, pp. 935-953. 8. Radhika, S., Swapna, D., Manikanta, P., Sunain, S. K., (2016), «Design of a compressed air vehicle», *Journal of Refrigeration, Air Conditioning, Heating and Ventilation*, No. 1(3), pp. 1-6. 9. Mytrofanov O. S., Shabalin Yu. V.,

Biryuk T. F., & Yefenina L. O. *Pat. na vynakhid Ukrayiny № 120489. Porshneva mashyna; zayavl. № a201902189 10.09.2019 r.; opubl. 10.12.2019 r., byul. № 23 [Patent for the invention of Ukraine No. 120489. The piston machine; claimed No. a201902189 on September 10, 2019; publ. December 10, 2019, bul. № 23]*. 10. Filkin, N. M., Shaikhov, R. F., Buyanov, I. P., (2016), *Theory of transport and transport-technological machines: study guide [Teoriya transportnykh i transportno-tehnologicheskikh mashin: ucheb. posobie]*, FGBOU VO Permskaya GSKhA, Perm, 230 p. 11. Nuzhdin, R. V. (2018), *Traction calculation of the car: method. instructions for course design in the discipline "Design and Consumer. car properties"*, [Tyagovyy raschet avtomobilya: metod. ukazaniya k kursovomu proektirovaniyu po distsipline «Konstruktsiya i potrebit. svoystva avtomobiley»], Izd-vo VIGU, Vladimir, 36 p.

Надійшла до редакції 15.07.2020 р.

Ткач Михайло Романович – доктор техн. наук, професор, завідувач кафедри інженерної механіки та технології машинобудування, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, Україна, e-mail: mykhaylo.tkach@nuos.edu.ua, тел.: +380505219380, <http://orcid.org/0000-0003-4944-7113>.

Митрофанов Олександр Сергійович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри «Двигуни внутрішнього згоряння, установки та технічна експлуатація», Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, Україна, e-mail: mitrofanov.al.ser@gmail.com, тел.: +380634183014, <http://orcid.org/0000-0003-3460-5369>.

Проскурін Аркадій Юрійович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри «Двигуни внутрішнього згоряння, установок та технічна експлуатація», Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, Україна, e-mail: arkadii.proskurin@nuos.edu.ua, тел.: +380932048026, <http://orcid.org/0000-0002-5225-6767>.

Познанський Андрій Станіславович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри інженерної механіки та технології машинобудування, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, Україна, e-mail: andreypoznansky@gmail.com, тел.: +380730381825, <http://orcid.org/http://orcid.org/-0003-4351-7504>.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ РОТОРНО-ПОРШНЕВОГО ПНЕВМОДВИГАТЕЛЯ ТРАНСПОРТНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

М.Р. Ткач, А.С. Митрофанов, А.Ю. Проскурин, А.С. Познанский

В статье рассмотрена альтернатива традиционным транспортным энергетическим установкам - установкам, работающие на сжатом воздухе. Главным элементом таких установок является пневмодвигатель, от технического совершенства которого напрямую зависят эффективные и эксплуатационные показатели всей установки. Наиболее целесообразным является разработка и создание нового надежного и эффективного пневмодвигателя, отвечающего специфике и удовлетворяет все условия эксплуатации на транспортном средстве. Роторно-поршневой двигатель РПД-4,4/1,75 соответствует всем необходимым требованиям, а именно: имеет небольшую массу и габариты; является реверсивным; эффективно работает в широком диапазоне давлений на входе в двигатель; обеспечивает нормальную работу при различных температурах окружающей среды. Разработана принципиальная схема экологически чистой транспортной энергетической установки на базе роторно-поршневого пневмодвигателя РПД-4,4/1,75 с максимальной мощностью 6 кВт. Получены внешние скоростные характеристики роторно-поршневого пневмодвигателя РПД-4,4/1,75 для диапазона значений рабочего давления воздуха во впускном ресивере 1,2...2,0 МПа. Согласно полученных характеристик максимальные значения крутящего момента пневмодвигателя достигается при 1100 мин⁻¹, тогда как максимальные значения эффективной мощности при 1400 мин⁻¹. Определены составляющие силового баланса и динамический фактор транспортного средства для всех передач и скоростей движения для диапазона значений рабочего давления воздуха во впускном ресивере 1,2...2,0 МПа. Согласно полученных характеристик роторно-поршневой пневмодвигатель РПД-4,4/1,75 вместе с трансмиссией на первой передаче обеспечивают максимальное тяговое усилие 2,1...3,2 кН. Определены зависимости ускорения, времени и пути разгона транспортного средства до максимальной установленной скорости 50 км/ч. Так, в зависимости от давления воздуха во впускном ресивере необходимое время разгона составляет от 20,1 до 30,5 с, а путь разгона от 200,2 до 309,3 м. Для повышения эксплуатационных и экономических показателей транспортной энергетической установки предложено регулирования рабочего давления воздуха во впускном ресивере роторно-поршневого пневмодвигателя.

Ключевые слова: роторно-поршневой двигатель; транспортная энергетическая установка; силовой баланс; тяговое усилие; разгон.

RESEARCH OF OPERATING PARAMETERS OF ROTARY PISTON PNEUMATIC ENGINE OF TRANSPORT POWER PLANT

M.R. Tkach, O.S. Mytrofanov, A. Y. Proskurin, A. S. Poznanskyi

The article considers an alternative to traditional transport power plants - plants operating on compressed air. The main element of such plants is a pneumatic engine, the technical perfection of which determines the effective and operational performance of the entire plant. The most appropriate is the development and creation of a new reliable and efficient pneumatic engine that meets the specifications and satisfies all operating conditions on the vehicle. The RPD-4.4/1.75 rotary piston engine meets all the necessary requirements, namely: it has a small weight and dimensions; it is reversible; works effectively in a wide range of

pressures at the engine inlet; provides normal operation at various ambient temperatures. A schematic diagram of an environmentally friendly transport power plant based on the RPD-4.4/1.75 rotary piston pneumatic engine with a maximum power of 6 kW has been developed. The external speed characteristics of the RPD-4.4/1.75 rotary piston pneumatic engine were obtained for a range of working air pressure values in the intake receiver of 1.2...2.0 MPa. According to the obtained characteristics, the maximum values of the torque of the pneumatic engine are achieved at 1100 rpm, while the maximum values of the effective power at 1400 rpm. The components of the power balance and the dynamic factor of the vehicle for all gears and speeds for a range of operating air pressure in the intake receiver of 1.2...2.0 MPa are determined. According to the obtained characteristics, the RPD-4.4/1.75 rotary piston pneumatic engine together with the transmission in the first gear provides the maximum traction force of 2.1...3.2 kN. The dependences of acceleration, time and way of vehicle acceleration to a maximum speed of 50 km/h are determined. So, depending on the air pressure in the intake receiver, the necessary acceleration time is from 20.1 to 30.5 s, and the acceleration path is from 200.2 to 309.3 m. To increase the operational and economic indicators of the transport power plant, it is proposed to regulate the working air pressure in the intake receiver of a rotary piston pneumatic engine.

Keywords: rotary-piston engine; transport power plant; power balance; traction force; acceleration.