

Б.Г. Тимошевський, О.С. Митрофанов

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ РОТОРНО-ПОРШНЕВОГО ДВИГУНА

Досить інтенсивними темпами розвивається напрямок застосування енергії стисненого повітря у різних галузях промисловості та транспорті. Найбільшим недоліком при використанні пневмодвигунів є низька ефективність застосування енергії робочого тіла, тобто питома витрата повітря на кіловат енергії, що виробляється. Подані конструкція та основні параметри нового зразка роторно-поршневого двигуна 12РПД-4,4/1,75 з регульованим золотниковим розподілом повітря. Двигун має дванадцять рівномірно розміщених циліндрів, що забезпечує врівноваженість двигуна та можливість пуску при будь-якому положенні ротора. Запропонована схема механізму руху забезпечує досить просту та компактну конструкцію роторно-поршневого двигуна, при цьому значення відносного мертвого об'єму ϵ_0 обумовлене лише технологічними зазорами та є незначним ($\epsilon_0 = 0,015$). Конструкція двигуна передбачає наявність центрального регулюючого кулачкового вала, поворот якого дає змогу регулювати фази газорозподілу та режими роботи двигуна за рахунок ступеня наповнення циліндра ϵ_1 у досить широкому діапазоні. Так, значення ступеня наповнення циліндра знаходяться у межах 0,135...0,175. При зменшенні значення ступеня наповнення ϵ_1 спостерігається зниження питомої витрати стисненого повітря при деякому падінні середнього індикаторного тиску внаслідок зменшення площі індикаторної діаграми. Виконані первинна оцінка та аналіз впливу основних параметрів пневмодвигуна на ефективність енергоперетворення в роторно-поршковому двигуні нової конструкції. Наведено індикаторні діаграми при різному значенні тиску робочого тіла на вході в роторно-поршковий двигун. Значення тиску робочого тіла на вході змінювалося у межах 1,0...1,9 МПа, при цьому індикаторна потужність двигуна складала 0,91...1,62 кВт. Подано залежності зміни індикаторних показників двигуна 12РПД-4,4/1,75 таких, як потужність, питома витрата повітря, середній тиск та індикаторний ККД. Установлено, що залежно від навантаження роторно-поршневого двигуна питома індикаторна витрата повітря складає 29,9...18,4 кг/кВт·год, при цьому індикаторний ККД змінюється в межах 0,47...0,83.

Ключові слова: стиснене повітря; роторно-поршковий двигун; мертвий об'єм; ступінь наповнення; індикаторна діаграма; питома індикаторна витрата повітря.

Вступ

Пневмодвигуни різного призначення широко використовуються у різних галузях промисловості (особливо у гірничодобувній), ручному інструменті, вантажно-транспортних машинах, приводі бурових кареток або тельферів, авіації та підводних апаратах [1-3].

Крім того, досить інтенсивно розвивається напрямок застосування пневмодвигунів у гібридних енергетичних установках транспортних засобів. Так, на базі Харківського національного автомобільно-дорожнього університету ведуться дослідження щодо створення гібридних силових установок транспортних засобів з використанням пневмодвигунів. Значний вклад у розвиток комбінованих енергетичних установок автомобілів з пневмодвигунами, а також у дослідження робочого процесу та проектування двигунів зробили вітчизняні вчені, такі, як А.М. Туренко, В.О. Богомолів, Ф.І. Абрамчук, О.І. Воронков С.С. Жилін, І.М. Нікітченко, А.І. Харченко, В.М. Манойло, О.Ю. Лінков та ін. [4-8].

До основних переваг пневмодвигунів можна віднести:

- низькі масогабаритні показники;
- пожежну безпеку (важливий фактор для підприємств машинобудівної, хімічної, нафтохімічної та гірничодобувної галузей);
- можливість зворотного ходу;

- стійкість до зовнішнього механічного впливу та вібрації;

- простоту конструкції;

- високу надійність та ремонтпридатність.

Основними недоліками можна назвати:

- низький ККД за рахунок багатократного перетворення енергії (спочатку необхідно витратити енергію для стиснення повітря, а потім від стисненого повітря отримати механічну роботу);

- охолодження двигуна внаслідок розширення повітря;

- обмеженість енергоємності заправних балонів та високу витрату стисненого повітря.

Для вирішення цих та багатьох інших проблем, пов'язаних із застосуванням пневмодвигунів у енергетичних установках різного призначення, необхідно подальше технічне вдосконалення вже існуючих або створення принципово нових двигунів.

Постановка задачі

Дослідження параметрів роботи енергетичних установок різного призначення на базі пневмодвигунів за допомогою числового моделювання параметрів та характеристик робочого процесу дає змогу встановити нові закономірності, визначити вплив параметрів робочого тіла на вході в двигун на ефективність енергоперетворення, а також оцінити раціональні межі використання пневмодвигуна у тій чи іншій енергетичній установці. Аналіз отриманих результатів моделювання дозволяє ви-

значити подальші напрямки підвищення ефективності та потужності двигуна. Крім того, математичне моделювання дозволяє значно знизити матеріальні витрати на стадії проектування та отримати у першому наближенні досить достовірні результати.

Мета даної роботи полягає в первинній оцінці ефективності енергоперетворення в спроектованому роторно-поршневому двигуні нової конструкції; визначенні раціонального співвідношення параметрів робочого тіла на вході в двигун та параметрів робочого процесу, що забезпечать прийнятні питому витрату повітря й потужність роторно-поршневого двигуна при заданих умовах експлуатації.

Виклад основного матеріалу

На машинобудівному підприємстві ТОВ «Мотор-Плюс» було спроектовано зразок роторно-поршневого двигуна нової конструкції (рис. 1). Підприємство має науково-технічну базу й багаторічний досвід у галузі проектування і створення нових зразків двигунів та різноманітної техніки, що бере свій початок ще з Українського науково-дослідного інституту технології суднобудування (підрозділом, якого воно було). Підприємство також має достатньо високий рівень виробничих потужностей та високоточного устаткування й обладнання.

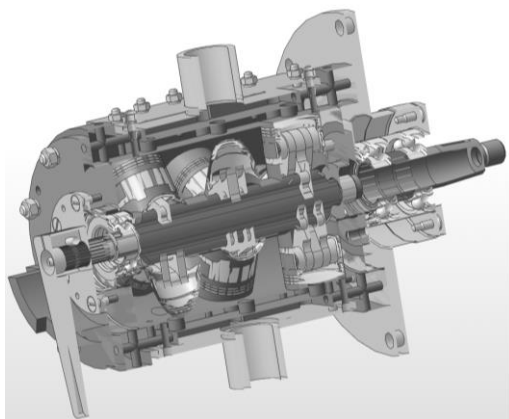


Рис. 1. Роторно-поршневий двигун 12РПД-4,4/1,75

При проектуванні та створенні роторно-поршневого двигуна було використано досвід підприємства у створенні подібних типів двигунів, а саме патент на винахід України №7592 [9] (автори Волощук О.І., Шабалін Ю.В., Фролов В.К., Тетерев В.С.). У конструкцію нового роторно-поршневого двигуна було внесено значний ряд принципів змін та враховано всі недоліки, що підтверджено заявкою на патент реєстраційний номер № а 2019 02189. Основні параметри роторно-поршневого двигуна 12РПД-4,4/1,75 наведені в табл. 1.

У розробленій конструкції роторно-поршневого двигуна, для розподілу повітря вико-

ристовуються впускні та випускні отвори, перекриття яких здійснюється центральним ротором. Таким чином центральний ротор виконує функцію золотника та корпусу, в якому рухаються поршні. Застосування золотникового розподілу повітря забезпечує досить просту та компактну конструкцію. При цьому завдяки запропонованій конструкції механізму руху значення відносного мертвого об'єму є незначним $\epsilon_0 = 0,015$ та обумовлене лише технологічними зазорами. Також завдяки наявності у конструкції центрального кулачкового вала є можливість регулювати фази газорозподілу та режими роботи двигуна за рахунок ступеня наповнення циліндра.

Таблиця 1. Основні параметри зразка роторно-поршневого двигуна 12РПД-4,4/1,75

№ з.п.	Параметр	Одиниця вимірювання	Значення
1	Діаметр циліндра	мм	44
2	Хід поршня	мм	17,5
3	Відношення S/D	–	0,4
4	Кількість циліндрів	–	12
5	Робочий об'єм	см ³	320,6
6	Відносний мертвий об'єм	–	0,015

Двигун має 12 рівномірно розміщених циліндрів, що забезпечує врівноваженість двигуна та можливість пуску при будь-якому положенні ротора. Роторно-поршневий двигун є короткоходовим, тобто відношення ходу поршня S до діаметра циліндра D дорівнює $S/D = 0,4$. Це дало змогу зробити двигун більш компактним та легким. Згідно з рекомендаціями [10] зі зменшенням S/D зменшується і середня швидкість поршня, що, у свою чергу, зменшує втрати тиску при впуску та знижує протитиск на випуску.

На рис. 2 наведені індикаторні діаграми роботи роторно-поршневого двигуна при різному значенні тиску робочого тіла на вході в двигун.

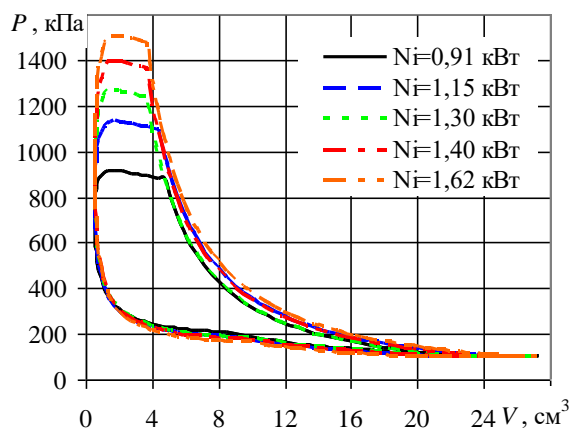


Рис. 2. Індикаторні діаграми роторно-поршневого двигуна 12РПД-4,4/1,75 при різних значеннях тиску робочого тіла на вході в двигун

Робота пневмодвигуна за навантажувальною характеристикою подана на рис. 3. Значення тиску робочого тіла на вході в роторно-поршневий двигун змінювалося у межах 1,0...1,9 МПа, а частота обертання вихідного вала $n = 500 \text{ хв}^{-1}$, при цьому індикаторна потужність двигуна складала 0,91...1,62 кВт.

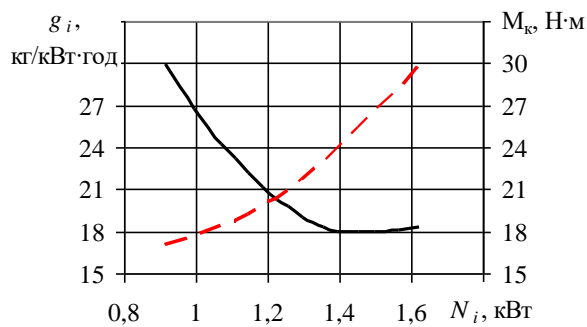


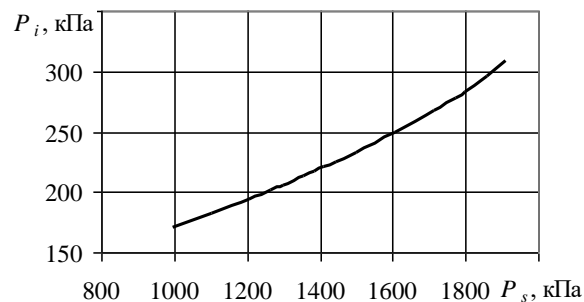
Рис. 3. Навантажувальна характеристика роторно-поршневого двигуна

Зміна індикаторних показників роторно-поршневого двигуна 12РПД-4,4/1,75 залежно від величини тиску на вході в двигун наведена на рис.4.

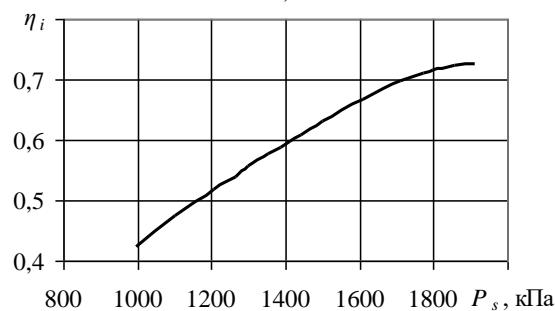
З графіка видно, що з підвищенням тиску на впуску середній індикаторний тиск зростає майже пропорційно з 172 кПа до 310 кПа, при цьому індикаторний ККД роторно-поршневого двигуна лежить у межах 0,43...0,72. Також з підвищенням тиску на вході в двигун зменшується питома індикаторна витрата повітря із 29,9 до 18,4 кг/кВт·год.

Досить низькі значення питомої індикаторної витрати стисненого повітря й високі значення індикаторного ККД обумовлені конструктивними особливостями запропонованого роторно-поршневого двигуна нової конструкції, які поєднують переваги поршневих та роторних двигунів.

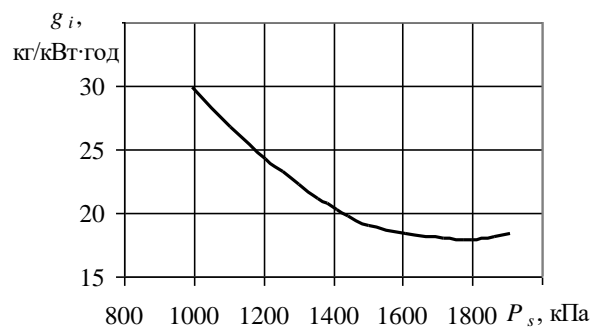
У запропонованій конструкції, як і для всіх ротаційних двигунів, мертвий об'єм фактично не є мертвим, а відповідає роботі виштовхування при тиску впуску в компресорному циклі. Так, для поршневих двигунів значення мертвого об'єму може досягати до 25 % робочого об'єму ($\epsilon_0 = 0,35...0,45$), що обумовлене, насамперед, характером розподілу повітря [10, 11]. Мертвий об'єм у поршневих двигунах утворюється за рахунок повітряних каналів та зазору між торцем циліндра та поршнем. При використанні у поршневих двигунах клапанного розподілу з гідравлічним приводом та електронним керуванням можливо значно знизити величину мертвого об'єму [10], однак це призведе до ускладнення конструкції двигуна.



а)



б)



в)

Рис. 4. Вплив величини тиску на вході в роторно-поршневий двигун на індикаторні показники а – середній індикаторний тиск; б – індикаторний ККД; в – питома індикаторна витрата палива

Ще одним параметром, який у значній мірі впливає на ефективну витрату енергії стисненого повітря, є ступінь наповнення ϵ_1 (відношення об'єму робочого циліндра в момент закінчення наповнення до повного об'єму). У більшості поршневих двигунах із золотниковим розподілом повітря ступінь наповнення не регулюється, що призводить до значних втрат повітря при регулюванні режиму роботи двигуна. Як уже зазначалося, у запропонованій конструкції роторно-поршневого двигуна передбачена можливість регулювання у досить широкому діапазоні цього параметра за рахунок повороту кулачкового вала. Так, при зменшенні значення ступеня наповнення ϵ_1 спостерігається зниження питомої витрати стисненого повітря при деякому падінні середнього індикаторного тиску внаслідок зменшення площі індикаторної

діаграми [10, 11]. На рис. 5 наведено залежність змінення питомої індикаторної витрати повітря від ступеня наповнення робочого циліндра роторно-поршневого двигуна 12РПД-4,4/1,75.

Енергія стисненого повітря акумулюється у балонах під високим тиском, який може досягати 40...50 МПа. Робочий тиск у більшості пневодвигунах значно менший, тому необхідно використовувати понижуючі газові редуктори. Однак зниження тиску в редукторі супроводжується ефектом Джоуля-Томсона, тобто зниженням температури робочого тіла при дроселюванні. Також зниження температури відбувається і в робочому циліндрі двигуна та органах випуску відпрацьованого робочого тіла. Зниження температури негативно впливає і на роботу системи змащення. Так, наприклад, дослідження щодо вирішення проблеми впливу зниження температури на роботу пневмодвигуна за рахунок попереднього підігріву стисненого повітря проводилися на базі ХНАДУ [6, 10].

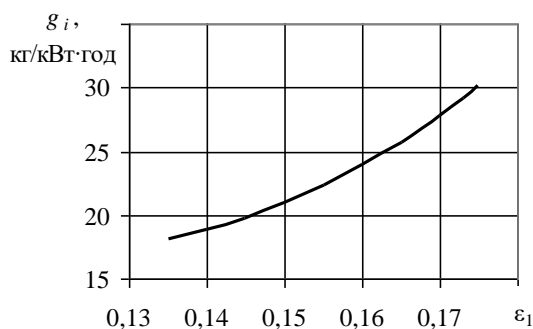


Рис. 5. Вплив ступеня наповнення робочого циліндра на питому індикаторну витрату палива

Значення ступеня наповнення також має безпосередній вплив на змінення найнижчої температури циклу [6, 10]. Зниження його значення призводить до підвищення меж застосування тиску стисненого повітря на вході в двигун [10]. У запропонованій конструкції роторно-поршневого двигуна значення ступеня наповнення може варіюватися у досить широких межах та досягати свого мінімального значення на рівні $\varepsilon_1 = 0,135$, що, у свою чергу, дозволяє використовувати більш високі значення тиску на вході в двигун без попереднього підігріву.

Ще одним параметром, який впливає на ефективність роботи двигуна, є організація процесу випуску відпрацьованого повітря. Випуск відпрацьованого повітря в роторно-поршневому двигуні відбувається з меншими втратами. Це обумовлено тим, що площа перетину випускних отворів після їх відкриття не залежить від кута повороту ротора.

Однак варто відзначити, що досягнення високих ефективних показників роторно-поршневого

двигуна напряму залежать від якості й точності виготовлення, що, у свою чергу, впливає на зниження втрат стисненого повітря та ККД.

Висновки

1. Проведено аналіз результатів розрахункового дослідження параметрів роботи роторно-поршневого двигуна нової конструкції. Наведено індикаторні діаграми та графічні залежності змінення індикаторних показників від параметрів робочого тіла на вході в двигун.

2. Визначено та проаналізовано вплив таких параметрів, як відносний мертвий об'єм, ступінь наповнення, тиск на вході в двигун, мінімальна температура циклу на ефективність енергоперетворення.

3. Установлено, що залежно від навантаження роторно-поршневого двигуна питома індикаторна витрата повітря складає 29,9...18,4 кг/кВт·год, при цьому індикаторний ККД змінюється в межах 0,43...0,72.

Список літератури:

1. Прилуцкий А.И. Применение поршневых расширительных машин в установках утилизации энергии сжатого природного газа [Текст] / А.И. Прилуцкий // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2008. – № 3. – С. 26–30.
2. Митюков Н.В. О возможности конструктивной реализации подводного буксировщика на основе пневматической машины [Текст] / Н.В. Митюков, В.В. Тулумбасов // Новый университет. Серия: Технические науки. – 2012. – № 3. – С. 78–79.
3. Зиневич В.Д. Поршневые и шестеренные пневмодвигатели горношахтного оборудования [Текст] / В.Д. Зиневич, Л.А. Гешлин. – М.: Недра, 1982. – 200 с.
4. О выборе рациональных задаваемых параметров работы поршневого пневмодвигателя с клапанным воздухораспределением [Текст] / Ф.И. Абрамчук, А.И. Харченко, С.С. Жилин и др. // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. ХНАДУ. – 2011. – Вып. 27. – С. 141–147.
5. Абрамчук Ф.И. О достоинствах и целесообразности применения поршневого пневмодвигателя в составе автомобильной гибридной установки [Текст] / Ф.И. Абрамчук, А.И. Воронков, И.Н. Никитченко // Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр. 2010. – Вып. 48. – С. 200–206.
6. Воронков А.И. Определение минимально необходимого подогрева сжатого воздуха на входе в автомобильный пневмодвигатель при различных условиях эксплуатации [Текст] / А.И. Воронков, Э.В. Тесленко, Т.А. Удовик // Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр. – 2016. – Вып. 75. – С. 100–108.
7. Воронков А.И. Изменение экономических индикаторных показателей пневмодвигателя по скоростным характеристикам [Текст] / А.И. Воронков // Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр. – 2014. – Вып. 67. – С. 13–18.
8. Пневмодвигатель для автомобильной гибридной силовой установки [Текст] / А.Н. Туренко, В.А. Богомолов, Ф.И. Абрамчук и др. // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. ХНАДУ. – 2009. – Вып. 24. – С. 7–10.
9. Пат. на винахід України №7592. Поршнева машина [Текст] / Волощук О.І., Шабалин Ю.В., Фролов В.К., Тетерев В. С.; Український науково-дослідний інститут технології суднобудування; 4345140/SU; 29 ве-

ресня 1995 р. – Бюл. № 3. 10. О выборе параметров поршневого пневмодвигателя, работающего в составе гибридной энергоустановки автомобиля [Текст] / А.Н. Туренко, В.А. Богомолов, Ф.И. Абрамчук, А.И. Харченко, А.И. Шилов // Автомобильный транспорт. – 2008. – Вып. 22. – С. 7–13. 11. Зеленецкий С.Б. Ротационные пневматические двигатели [Текст] / С.Б. Зеленецкий, Е.Д. Рябков, А.Г. Микеров. – Л.: Машиностроение, 1976. – 240 с.

Bibliography (transliterated):

Prilutskiy, A.I. (2008), «The use of piston expansion machines in installations for the utilization of the energy of compressed natural gas», *Chemical and oil and gas engineering*, [«Primenenie porshnevnykh rasshiritelnykh mashin v ustanovkakh utilitatsii energii szhatogo prirodnogo gaza», *Himicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie*], № 3, pp. 26-30. 2. Mityukov, N.V., Tulumbasov, V.V. (2012), «On the possibility of the constructive realization of an underwater towing vehicle based on a pneumatic machine», *New University. Series: Technical Sciences*, [«O vozmozhnosti konstruktivnoy realizatsii podvodnogo buksirovshchika na osnove pnevmaticheskoy mashiny», *Novyy universitet. Seriya: Tehnicheskie nauki*], № 3, pp. 78-79. 3. Zinevich, V.D., Geshlin, L.A. (1982), *Piston and gear pneumatic motors of mining equipment [Porshnevyie i shesterennyye pnevmodvigateli gornoshahtnogo oborudovaniya]*, Nedra, Moscow, 200 p. 4. Abramchuk, F.I., Harchenko, A.I., Zhilin, S.S. (2011), «On the choice of rational set parameters of the piston air motor with valve air distribution», *Automobile transport: a collection of scientific papers*, [«O vyibore ratsionalnykh zadavaemykh parametrov raboty porshnevo pnevmodvigatelya s klapannyim vozduhoraspredeleniem», *Avtomobilnyy transport: sb. nauch. tr. HNADU*], № 27, pp. 141-147. 5. Abramchuk, F.I., Voronkov, A.I., Nikitchenko, I.N. (2010), «On the merits and feasibility of using a piston air motor as part of an automotive hybrid installation», *KhNADU Bulletin: collection of scientific. tr.*, [«O dostoinstvah i

tselesoobraznosti primeneniya porshnevo pnevmodvigatelya v sostave avtomobilnoy gibridnoy ustanovki», *Vestnik HNADU: sb. nauchn. tr.*], № 48, pp. 200-206. 6. Voronkov, A.I., Teslenko, E.V., Udovik, T.A. (2016), «Determination of the minimum required heating of compressed air at the entrance to the automobile air motor under various operating conditions», *KhNADU Bulletin: collection of scientific. tr.*, [«Opreделение minimalno neobhodimogo podogreva szhatogo vozduha na vhode v avtomobilnyy pnevmodvigatel pri razlichnykh usloviyakh ekspluatatsii», *Vestnik HNADU: sb. nauch. tr.*], № 75, pp. 100-108. 7. Voronkov, A.I. (2014), «Change of economic indicator indicators of the pneumatic motor according to speed characteristics», *KhNADU Bulletin: collection of scientific. tr.*, [«Izmenenie ekonomicheskikh indikatornykh pokazateley pnevmodvigatelya po skorostnyim harakteristikam», *Vestnik HNADU: sb. nauch. tr.*], № 67, pp. 13-18. 8. Turenko, A.N., Bogomolov, V.A., Abramchuk, F.I. (2009), «Air Motor for Automobile Hybrid Power Plant», *Automobile Transport: a collection of scientific papers HNADU*, [«Pnevmodvigatel dlya avtomobilnoy gibridnoy silovoy ustanovki», *Avtomobilnyy transport: sb. nauch. tr. HNADU*], № 24, pp. 7-10. 9. Voloshchuk, O.I., Shabalin, Yu.V., Frolov, V.K., Tietieriev, V. S. (1995), *Patent on vnahid Ukraine №7592. Porshnev car, Ukrainian National Research Institute, Institute of Technology court-to-law*, [Pat. na vynakhid Ukrainy №7592. Porshneva mashyna; *Ukrainskyi naukovy-doslidnyi instytut tekhnologii sudnobuduvannia*]; 4345140/SU; 29 veresnia 1995 r. – Biul. № 3. 10. Turenko, A.N., Bogomolov, V.A., Abramchuk, F.I., Harchenko, A.I., Shilov A.I. (2008), «On the choice of the parameters of a piston air motor operating in a hybrid power plant of a car», *Automobile transport*, [«O vyibore parametrov porshnevo pnevmodvigatelya, robotayuscheho v sostave gibridnoy energoustanki avtomobilya», *Avtomobilnyy transport*], № 22, pp. 7-13. 11. Zelenetskiy, S.B., Ryabkov, E.D., Mikerov, A.G. (1976), *Rotary Pneumatic Motors*, [Rotatsionnyie pnevmaticheskie dvigateli], *Mashinostroenie, Leningrad*, 240 p.

Надійшла до редакції 24.06.2019 р.

Тимошевський Борис Георгійович – доктор техн. наук, проф., завідувач кафедри двигунів внутрішнього згорання, установок та технічної експлуатації Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, Україна, e-mail: borys.tymoshevskyy@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4649-702X>.

Митрофанов Олександр Сергійович – кандидат техн. наук, доцент кафедри двигунів внутрішнього згорання, установок та технічної експлуатації Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, Україна, e-mail: mitrofanov.al.ser@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-3460-5369>.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ РОТОРНО-ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Б.Г. Тимошевский, А.С. Митрофанов

Достаточно интенсивными темпами развивается направление применения энергии сжатого воздуха в различных отраслях промышленности и транспорте. Самым большим недостатком при использовании пневмодвигателя является низкая эффективность применения энергии рабочего тела, то есть удельный расход воздуха на киловатт вырабатываемой энергии. Представлены конструкция и основные параметры нового образца роторно-поршневого двигателя 12РПД-4,4/1,75 с регулируемым золотниковым распределением воздуха. Двигатель имеет двенадцать равномерно размещенных цилиндров, что обеспечивает уравновешенность двигателя и возможность пуска при любом положении ротора. Предложенная схема механизма движения обеспечивает достаточно простую и компактную конструкцию роторно-поршневого двигателя, при этом значение относительного мертвого объема ϵ_0 обусловлено только технологическими зазорами и незначительно ($\epsilon_0 = 0,015$). Конструкция двигателя предусматривает наличие центрального регулирующего кулачкового вала, поворот которого позволяет регулировать фазы газораспределения и режимы работы двигателя за счет степени наполнения цилиндра ϵ_1 в достаточно широком диапазоне. Так, значения степени наполнения цилиндра находятся в пределах 0,135...0,175. При уменьшении значения степени наполнения ϵ_1 наблюдается снижение удельного расхода сжатого воздуха при некотором падении среднего индикаторного давления вследствие уменьшения площади индикаторной диаграммы. Выполнены первичная оценка и анализ влияния основных параметров пневмодвигателя на эффективность энергопреобразования в роторно-поршневом двигателе новой конструкции. Приведены индикаторные диаграммы при разном значении давления рабочего тела на входе в роторно-поршневой двигатель. Значение давления рабочего тела на входе менялось в пределах 1,0...1,9 МПа, при этом индикаторная мощность двигателя составляла 0,91...1,62 кВт. Представлены зависимости изменения индикаторных показателей двигателя 12РПД-4,4/1,75, таких, как мощность, удельный расход воздуха, среднее давление и индикаторный КПД. Установлено, что в зависимости от нагрузки роторно-поршневого двигателя удельный индикаторный расход воздуха составляет 29,9...18,4 кг / кВт·ч, при этом индикаторный КПД изменяется в пределах 0,47...0,83.

Ключевые слова: сжатый воздух; роторно-поршневой двигатель; мертвый объем; степень наполнения; индикаторная диаграмма; удельный индикаторный расход воздуха.

THE RESEARCH OF PARAMETERS OF WORK OF ROTOR-PISTON ENGINE

B.G. Tymoshevskyy, O.S. Mytrofanov

The direction of application of compressed air energy in various industries and transport is developing at a fairly intensive pace. The biggest drawback when using an air motor is the low energy efficiency of the working fluid, that is, the specific air consumption per kilowatt of generated energy. The design and basic parameters of the new rotary-piston engine 12RPE-4,4/1,75 with adjustable spool air distribution are presented. The engine has twelve cylinders evenly spaced, which ensures the balance of the engine and the ability to start at any position of the rotor. The proposed scheme of the mechanism of motion provides a fairly simple and compact design of a rotary-piston engine, with the value of the relative dead volume ε_0 due to only technological gaps and slightly ($\varepsilon_0 = 0.015$). The engine design provides for the presence of a central regulating cam shaft, the rotation of which allows adjusting the valve timing and engine operating modes due to the degree of filling of the cylinder ε_1 over a fairly wide range. Thus, the values of the degree of filling of the cylinder are in the range of 0.135...0.175. With a decrease in the degree of filling ε_1 , a decrease in the specific consumption of compressed air is observed with a certain drop in the average indicator pressure due to a decrease in the area of the indicator diagram. The primary assessment and analysis of the influence of the main parameters of the air motor on the efficiency of energy conversion in a rotary-piston engine of a new design were carried out. Indicator diagrams for different values of working fluid pressure at the entrance to the rotary-piston engine are given. The pressure value of the working fluid at the inlet varied within 1.0...1.9 MPa, while the indicator engine power was 0.91...1.62 kW. The dependence of changes in the indicator indicators of the 12 RPE-4,4/1,75 engine, such as power, specific air consumption, average pressure and indicator efficiency, is given. It was established that, depending on the load of the rotor-piston engine, the specific indicator air flow rate is 29.9...18.4 kg/kW·h, while the indicator efficiency varies within 0.47...0.83.

Keywords: compressed air; rotary-piston engine; dead volume; filling stage; indicator diagram; specific indicator air flow.

УДК 621.43

DOI: 10.20998/0419-8719.2019.1.02

Т.М. Колеснікова, В. Г. Заренбін, О.П. Сакно, В.П. Олло

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ БЕНЗИНОВОГО ДВИГУНА, ЩО ПРАЦЮЄ ЗА ЦИКЛОМ АТКІНСОНА

В силу того, що вартість автомобільного палива має стабільну тенденцію до подорожчання та постійно посилюються законодавчі норми на викиди токсичних речовин з відпрацьованими газами, питання його економії стає вельми актуальним. Підвищення економічних показників автомобілів може бути забезпечене шляхом регулювання ступеня стиску на дросельних режимах двигуна та регулювання навантаження за рахунок зміни фаз газорозподілу. Іскрові ДВЗ, в основному, працюють у вузькому діапазоні зміни складу робочої суміші, тому на часткових навантаженнях необхідно зменшувати масу робочого тіла для підтримки необхідного складу суміші. Це, зазвичай, забезпечується дроселюванням повітря, що надходить в циліндри, і призводить до значного погіршення індикаторних показників ДВЗ через збільшення насосних витрат. Одним зі шляхів розв'язання даної проблеми є перехід від регулювання дроселюванням повітря до регулювання маси заряду шляхом затримки моменту закриття впускного клапану, тобто регулювати навантаження двигуна за способом Аткинсона. Для ДВЗ з регулюванням навантаження за способом Аткинсона стоїть завдання вибору конструктивної схеми газорозподільного механізму і параметрів робочого процесу, що можливо шляхом розробки певних методів розрахунку. Запропоновано загальну методику й математичні моделі елементів і підсистем робочого процесу ДВЗ з регулюванням навантаження за способом Аткинсона, які дозволяють проводити оцінку та вибір раціональних параметрів конструкції і робочого процесу двигуна на стадіях його розробки, доводки і дослідження. Отримані емпіричні залежності параметрів роботи двигуна, що уточнюють математичну модель робочого циклу стосовно до часткових режимів. Отримані емпіричні залежності дозволяють відстежити зміну основних параметрів робочого циклу двигуна. Математична модель враховує кінематику двигуна, а також варіанти регулювання як навантаження двигуна, так і ступеня стиску по методу Аткинсона. За результатами теоретичних досліджень за допомогою математичної моделі робочого процесу двигуна побудовані навантажувальні характеристики двигуна з регулюванням навантаження за способом Аткинсона та двигуна, що працює за циклом Отто. Відзначено, що регулювання навантаження за способом Аткинсона доцільно використовувати на режимі малих обертів, а з підвищенням обертів переходити до застосування інших допоміжних елементів конструкції двигуна. Наприклад, механічного нагнітача.

Ключові слова: паливна економічність; параметри; цикл Аткинсона; математична модель; розрахунок; навантаження; робочий процес

Вступ. Останнім часом усе більш гостро стоїть проблема підвищення паливної економічності автомобільних двигунів внутрішнього згорання і посилюються законодавчі норми на викиди токсич-

них речовин з відпрацьованими газами. Підвищення економічних показників автомобілів в експлуатаційних умовах може бути забезпечене шляхом регулювання ступеня стиску на дросельних