

Б.Г. Тимошевський, О.С. Митрофанов, А.Ю. Проскурін, А.С. Познанський

ВИБІР ЗАЗОРІВ ЦИЛІНДРО-ПОРШНЕВИХ СПОЛУЧЕНЬ РОТОРНО-ПОРШНЕВИХ ДВИГУНІВ

Розглянуто та проаналізовано вплив величини зазору циліндро-поршневого сполучення роторно-поршневого пневмодвигуна РПД-4,4/17,5 нової конструкції на його працездатність і надійність. Аналіз впливу зазору було виконано з урахуванням матеріалу, з якого виготовлено сполучні пари (поршень і робочий циліндр), та їх робочої температури. Як матеріал для виготовлення поршнів роторно-поршневого пневмодвигуна у першому випадку було обрано алюмінієвий ливарний сплав АК12М2МгН, а у другому – чавун із шароподібним графітом ВЧ 50. Як матеріал для виготовлення робочого циліндра (фактично – ротора) роторно-поршневого пневмодвигуна в обох випадках було обрано чавун із шароподібним графітом ВЧ 50. Діапазон змінення температури було обрано, базуючись на попередніх експериментальних дослідженнях дослідного зразка роторно-поршневого пневмодвигуна РПД-4,4/17,5. Так, обраний діапазон температур складає від -25 до 100 °С. Мінімальне значення температури обумовлене низькою температурою відпрацьованого повітря у впускному ресивері пневмодвигуна, а максимальне – температурою можливого підігріву стиснутого повітря на вході у впускний ресивер пневмодвигуна. Розроблено практичні рекомендації щодо вибору оптимального зазору циліндро-поршневого сполучення роторно-поршневого пневмодвигуна РПД-4,4/17,5 та встановлено, що номінальний торцевий зазор, який забезпечує нормальну роботу в діапазоні температур від -25 ... 100 °С, для чавунного поршня й чавунного робочого циліндра складає 25 мкм, а для варіанта виготовлення поршня з алюмінієвого сплаву – 33 мкм. Запропоновані торцеві зазори не перевищують рекомендованих значень для подібних сполучних деталей подібних агрегатів. Правильність обраних торцевих зазорів сполучних деталей також була підтверджена стендовими випробуваннями дослідного зразка роторно-поршневого пневмодвигуна з подальшою дефектацією деталей. Визначено, що перевищення температури у 100 °С для варіанта виготовлення поршня з алюмінієвого сплаву призводить до задиру поверхні робочого циліндра, заклинювання поршня з подальшим обривом рухомих ланок та пошкодженням бокових поршнів.

Ключові слова: зазор; роторний пневмодвигун; робочий циліндр; поршень; сполучення.

Вступ

Широке використання пневмодвигунів у різних галузях промисловості (особливо у гірничодобувній [1], транспорті [2–4], підводних апаратах [5], авіації, системах утилізації енергії [6, 7]) обумовило велику кількість різноманітних конструкцій [8]. Однак незалежно від конструктивного виконання та призначення пневмодвигуни повинні забезпечувати максимальне енергоперетворення енергії потоку стиснутого повітря.

Потік стиснутого повітря, підведеного до робочого циліндра пневмодвигуна, можна умовно розділити на те, що використовується для здійснення роботи, й те, яке втрачається через зазори в місцях сполучення деталей. На величину втрат стиснутого повітря пневмодвигунів напряму впливають наступні чинники:

- спосіб ущільнення сполучних деталей;
- правильність обраних зазорів і точність виготовлення;
- середня швидкість поршня;
- значення робочого тиску стиснутого повітря у впускному ресивері;
- початкова температура стиснутого повітря та, відповідно, температура деталей циліндро-поршневої групи.

Урахування цих факторів на стадії проектування, виготовлення, а також експлуатації дозволить знизити втрати стиснутого повітря і тим самим підвищити ефективні показники пневмодвигунів.

Постановка задачі

На машинобудівному підприємстві ТОВ «Мотор-Плюс» було спроектовано та виготовлено декілька зразків роторно-поршневих пневмодвигунів принципово нової конструкції (рис. 1), що підтверджено патентом на винахід України [9].

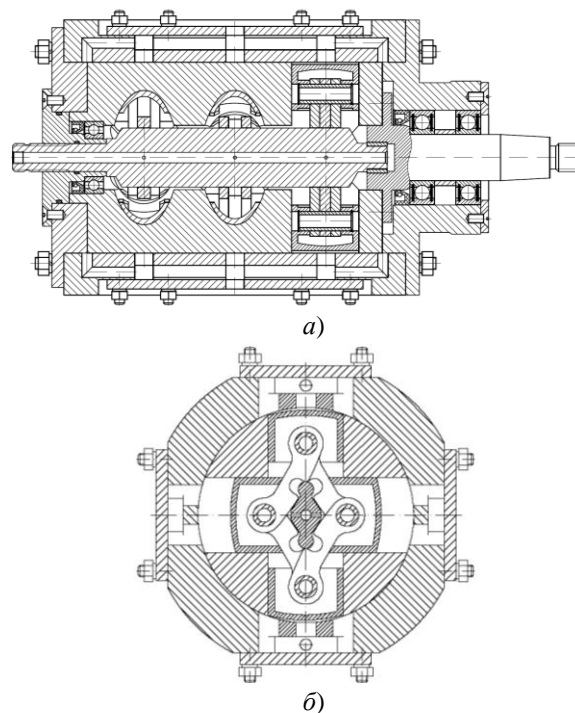


Рис. 1. Роторно-поршневий пневмодвигун РПД-4,4/1,75: а – поздовжній розріз; б – поперечний розріз

У корпусі пневмодвигуна розміщено центральний ротор у якому радіально виконано дванадцять попарно-опозитних циліндра. У циліндрах зворот-но-поступово рухаються поршні. Поршні разом з рухомими ланками та пальцями утворюють шарнірний чотирикутник (рис 2). У корпусі пневмодвигуна також виконані впускні та випускні ресивери з повітряними каналами. При повороті, центральний ротор відкриває впускні отвори і стиснуте повітря з впускного ресивера поступає до робочого циліндра пневмодвигуна де стиснене повітря розширюється та передає зусилля на два симетрично розташованих поршня й відповідно зв'язаним з ними рухомим ланкам. При цьому поршні, які рухаються до центра ротора здійснюють робочий хід, а інші два (зв'язані з ними у шарнірному чотирикутнику) – допоміжний хід, тобто забезпечують випуск відпрацьованого повітря. Внаслідок цього центральний ротор починає обертатися. У центрі шарнірного чотирикутника розміщено регулюючий кулачок, який дозволяє регулювати ступінь наповнення (регулювати режими роботи пневмодвигуна), а також дозволяє змінювати напрямок обертання центрального ротора.

Особливістю пневмодвигуна є механізм руху, який відрізняється від класичних схем (наприклад, кривошипно-шатунний механізм), та його деталі (рис. 2).



Рис. 2. Рухомий чотирикутник у зборі з поршнями механізму руху роторно-поршневого пневмодвигуна

Саме нова конструкція обумовлює необхідність розробки практичних рекомендацій щодо проектування та виготовлення роторно-поршневих пневмодвигунів різного призначення й умов експлуатації.

Мета дослідження – розробка практичних рекомендацій щодо вибору зазорів циліндро-поршневих сполучень роторно-поршневих двигунів.

Виклад основного матеріалу

Негативний вплив на роботу роторно-поршневого двигуна має як надмірний зазор, так і недостатній. Так, надмірний зазор між поршнем та робочим циліндром призводить до наступного:

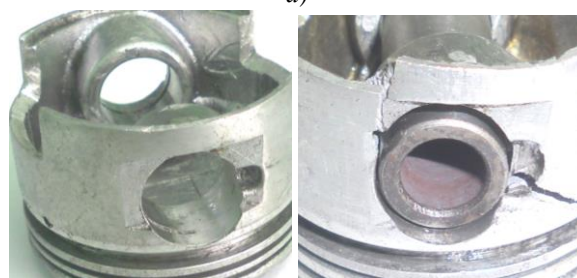
- підвищення витоків стиснутого повітря, що призводить до спаду ефективної потужності та зростання питомої витрати повітря;
- збільшується інтенсивність ударів поршня по стінках циліндра;
- підвищується рівень шуму;
- збільшується зношування поршня та втулки.

Недостатній зазор може призводити:

- до виникнення задирів поршня та робочого циліндра;
- до заклинювання поршня з подальшим розривом рухомих ланок механізму руху та пошкодженням бобишок поршня (рис. 3).



а)



б)

Рис. 3. Пошкодження деталей руху роторно-поршневого пневмодвигуна внаслідок неправильно обраних зазорів: а – розрив ланки рухомого чотирикутника; б – пошкодження бобишок поршня

На величину необхідного зазору між поршнем та робочим циліндром, а також центральним ротором і корпусом роторно-поршневого двигуна мають вплив, перш за все, матеріали, з яких вони виготовлені, а також початкова температура стисну-

того повітря перед розширенням. Матеріал деталей впливає на величину зазору через коефіцієнт лінійного розширення, а початкова температура стиснутого повітря – на кінцеву температуру відпрацьованого повітря на виході з пневмодвигуна.

На відміну від двигуна внутрішнього згоряння у пневмодвигуні не відбувається згоряння, а лише розширення попередньо стиснутого повітря. При редукуванні повітря до робочого тиску та розширенні у пневмодвигуні відбувається зниження температури, яке може доходити до від’ємних температур. Так, на рис. 4 наведена залежність зміння температури відпрацьованого повітря роторно-поршневого пневмодвигуна РПД-4,4/17,5 без попереднього підігріву на вході у впускний ресивер.

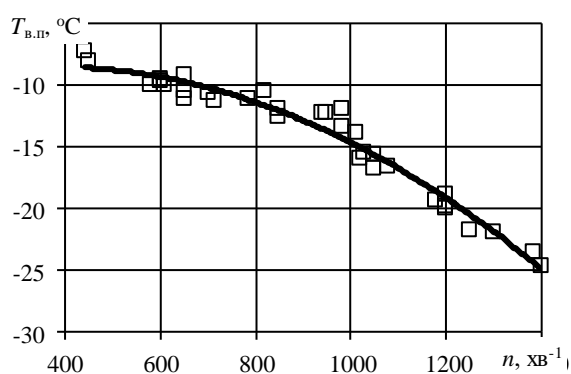


Рис. 4. Характеристика зміння температури відпрацьованого повітря на виході з пневмодвигуна

Відповідно до поданого графіку мінімальна температура повітря без попереднього підігріву на вході в ресивер пневмодвигуна може складати до $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для підвищення ефективних показників пневмодвигуна може використовуватися попередній підігрів стиснутого повітря [10]. Значення підігріву може досягати $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Відповідно зазор циліндропоршневого сполучення повинен забезпечувати нормальну роботу пневмодвигуна для діапазону температур робочого тіла та його елементів у межах $-25\dots 100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Сполучна пара поршень–робочий циліндр для роторно-поршневого двигуна була виготовлена у двох варіантах:

- поршень з алюмінієвого сплаву, робочий циліндр чавунний;
- чавунний поршень та чавунний робочий циліндр.

Так, відповідно до рекомендацій [11] значення величини зазору між сталевим поршнем та чавунним робочим циліндром у поршневому компресорі малої потужності без ущільнюючих кілець має складати:

$$\Delta = 3\dots 4 \cdot D_c / 10, \text{ мкм},$$

де D_c – діаметр робочого циліндра, мм.

Для компресорів великої потужності при використанні ущільнюючих кілець:

- для поршня з алюмінієвого сплаву та чавунного робочого циліндра

$$\Delta = 7\dots 8 \cdot D_c / 10, \text{ мкм};$$

- для поршня зі сталі та чавунного робочого циліндра

$$\Delta = 5\dots 6 \cdot D_c / 10, \text{ мкм}.$$

Основні характеристики циліндро-поршневого сполучення дослідного зразка роторно-поршневого пневмодвигуна з урахуванням рекомендацій [11] наведені в табл. 1. Відповідно до поданих у табл. 1 даних номінальний зазор між чавунним поршнем та чавунним робочим циліндром складає 25 мкм , а для алюмінієвого поршня – 33 мкм .

Таблиця 1. Основні характеристики циліндро-поршневого сполучення роторно-поршневого пневмодвигуна РПД-4,4/17,5

Деталь	Параметр	Значення
Поршень з алюмінієвого сплаву	Матеріал	Алюмінієвий ливарний сплав АК12М2МгН
	Номінальний діаметр, мм	$44^{+0,025}_{-0,041}$
	Твердість, НВ	90
	Шорсткість, мкм	0,16
	Середня швидкість поршня C_m , м/с	0,50...1,65
Чавунний поршень	Матеріал	Чавун із шароподібним графітом ВЧ 50
	Номінальний діаметр, мм	$44^{+0,009}_{-0,025}$
	Твердість, НВ	153...245
	Шорсткість, мкм	0,16
	Середня швидкість поршня C_m , м/с	0,50...1,65
Чавунний робочий циліндр	Матеріал	Чавун із шароподібним графітом ВЧ 50
	Номінальний діаметр, мм	$44^{+0,025}$
	Твердість, НВ	153...245
	Шорсткість, мкм	0,16
	Середня швидкість поршня C_m , м/с	0,50...1,65

Для розрахунку величини діаметрального зазору циліндро-поршневого сполучення роторно-поршневого пневмодвигуна РПД-4,4/17,5 скористаємося відомою залежністю [12]

$$\Delta_d = D_c (1 + \alpha_c t_c) - D_p (1 + \alpha_p t_p),$$

де D_p – діаметр робочого циліндра, мм; α_c , α_p – коефіцієнт лінійного розширення матеріалів циліндра та поршня, відповідно, $1/^{\circ}\text{C}$; t_c , t_p – відповідно, температури циліндра та поршня, $^{\circ}\text{C}$.

Для оцінки величини обраних зазорів циліндро-поршневого сполучення роторно-поршневого пневмодвигуна коефіцієнт температурного (лінійного) розширення обирається залежно від матеріалу та температури з графіка на рис. 5 [12].

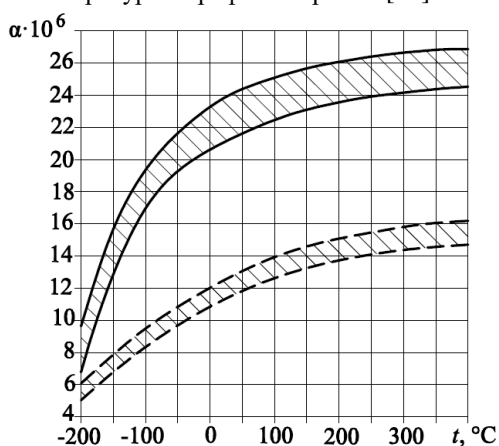


Рис. 5. Коефіцієнт лінійного розширення у функції температури: — — — алюмінієві сплави; - - - - чавуну

Результати розрахунку зміння діаметрів робочого циліндра й поршня для різних матеріалів та їх температур подано на рис. 6, а зміна поля допуску – на рис. 7.

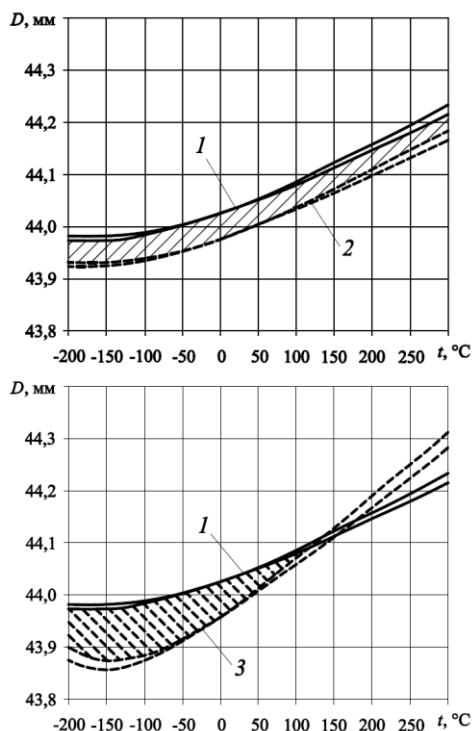


Рис. 6. Зміна зазору циліндро-поршневого сполучення роторно-поршневого пневмодвигуна РПД-4,4/17,5 для різних значень температури деталей: 1 – чавунний робочий циліндр; 2 – чавунний поршень; 3 – поршень з алюмінієвого сплаву

Так, відповідно до отриманих графіків значення зазору між сполученням поршня з робочим циліндром при виготовленні їх із чавуну є практично сталим та забезпечує гарантований зазор на всьому діапазоні роботи. Для варіанта виготовлення поршня з алюмінієвого сплаву зазор між сполучними поверхнями забезпечується лише до температури 100°C . Перевищення значення цієї температури призведе до заклинювання поршня у робочому циліндрі з подальшим розривом рухомих ланок та пошкодженням поршня й поверхні робочого циліндра (див. рис. 3). Також варто відзначити, що на режимі низьких температур спостерігається значне збільшення зазору з відповідним збільшенням втрат стиснутого повітря.

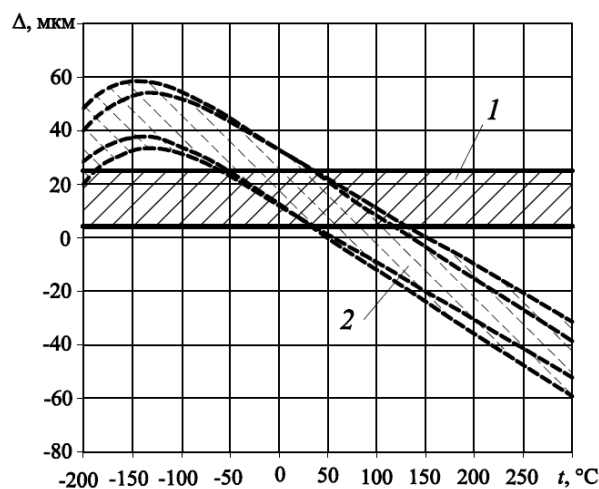


Рис. 7. Зміна поля допуску торцевого зазору циліндро-поршневого сполучення роторно-поршневого пневмодвигуна РПД-4,4/17,5 для різних значень температури деталей: 1 – чавунний робочий циліндр та поршень; 2 – чавунний робочий циліндр та поршень з алюмінієвого сплаву

Була проведена серія випробувань роторно-поршневого пневмодвигуна РПД-4,4/17,5 на різних режимах роботи з подальшою розборкою та дефектацією деталей. Візуальний огляд і заміри показали, що встановлені зазори є коректними та забезпечують необхідне ущільнення робочого циліндра (підтверджено отриманими ефективними показниками роботи пневмодвигуна).

Висновки

1. Розроблено практичні рекомендації щодо вибору оптимального зазору циліндро-поршневого сполучення роторно-поршневого пневмодвигуна РПД-4,4/17,5 з урахуванням матеріалу й температури сполучних деталей.
2. Проаналізовано вплив обраного матеріалу та температури сполучних деталей пневмодвигуна

на величину зазору. Так, номінальний торцевий зазор, який забезпечує нормальну роботу роторно-поршневого пневмодвигуна у діапазоні температур від -25 до $+100$ °С, для чавунного поршня та чавунного робочого циліндра складає 25 мкм, а для поршня з алюмінієвого сплаву й чавунного робочого циліндра – 33 мкм.

3. Установлено, що перевищення температури у 100 °С для варіанта виготовлення поршня з алюмінієвого сплаву та чавунного робочого циліндра призводить до заклинювання поршня з пошкодженням деталей руху.

Список літератури:

1. Зиневи́ч В.Д. Поршневые и шестеренные пневмодвигатели горношахтного оборудования [Текст] / В.Д. Зиневи́ч, Л.А. Гешлин. – М.: Недра, 1982. – 200 с. 2. 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. научн. тр. – 2010. – Вып. 48. – С. 200–206. 3. 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. 4. 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. 5. 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. 6. 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. 7. Research into the recovery of exhaust gases from ICE using an expansion machine and fuel conversion [Text] / Mytrofanov O., Poznanskyi A., Proskurin A., Shabalin Yu. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2019. – Vol. 4/5 (100). – P. 32–38. doi: 10.15587/1729-4061.2019.174061, <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/174061>. 8. Зеленецкий С.Б. Ротационные пневматические двигатели [Текст] / С.Б. Зеленецкий, Е.Д. Рябков, А.Г. Микеров. – Л.: Машиностроение, 1976. – 240 с. 9. Митрофанов О.С., Шабалин Ю.В., Бірюк Т.Ф., Єфеніна Л.О. (2019). Пат. на винахід України № 120489. Поршнева машина; заявл. № а201902189 10.09.2019 р.; опубл. 10.12.2019 р., бюл. № 23. 10. 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. 11. Кавахара М. Герметичные холо-

дильные компрессоры [Текст] / М. Кавахара // Рэбто кумё кидзюцу. – 1970. – № 248. – С. 11–21. 12. Орлов П.И. Основы конструирования [Текст] / П.И. Орлов: справочно-методическое пособие в 3-х книгах. Кн. 1. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1977. – 623 с.

Bibliography (transliterated):

1. Zinevich, V.D., Geshlin, L.A. (1982), Piston and gear pneumatic motors of mining equipment [Porshnevyie i shesterennyye pnevmodyvighateli gornoshahtnogo oborudovaniya], Nedra, Moscow, 200 p. 2. 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 porshnevoogo pnevmodyvighatelya v sostave avtomobilnoy gibridnoy ustanovki», Vestnik HNADU: sb. nauchn. tr.], № 48, pp. 200-206. 3. 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 porshnevoogo pnevmodyvighatelya, rabotayushchego v sostave gibridnoy energoustankovki avtomobilya», Avtomobilnyy transport], № 22, pp. 7-13. 4. 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, [«Pnevmodyvighatel dlya avtomobilnoy gibridnoy silovoy ustanovki», Avtomobilnyy transport: sb. nauch. tr. HNADU], № 24, pp. 7-10. 5. 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 mashinyi», Novyy universitet. Seriya: Tehnicheskie nauki], № 3, pp. 78-79. 6. 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 porshnevyyih rasshiritelnyih mashin v ustanovkakh utilizatsii energii szhatogo prirodnoogo gaza», Himicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie], № 3, pp. 26-30. 7. Research into the recovery of exhaust gases from ICE using an expansion machine and fuel conversion / Mytrofanov O., Poznanskyi A., Proskurin A., Shabalin Yu. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 4/5 (100). P. 32-38. doi: 10.15587/1729-4061.2019.174061 <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/174061>. 8. Zelenetskiy, S.B., Ryabkov, E.D., Mikerov, A.G. (1976), Rotary Pneumatic Motors [Rotatsionnyie pnevmaticheskije dvighateli], Mashinostroenie, Leningrad, 240 p. 9. Mytrofanov O. S., Shabalin Yu. V., Biryuk T. F., & Yefenina L. O. Pat. na vynakhid Ukrainy № 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. 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 pnevmodyvighatel pri razlichnyih usloviyah ekspluatatsii», Vestnik HNADU: sb. nauch. tr.], № 75, pp. 100-108. 11. Kawakara, M. (1970), «Hermetic refrigeration compressors / M. Kawahara», Rebto kume kidzutsu [«Germetichnyye kholodil'nyye kompressory», Rebto kume kidzutsu], № 248, pp. 11-21. 12. Orlov, P.I. (1977), Design Basics. Reference manual in 3 books. Prince 1. Ed. 2nd, reslave. and add. [Osnovy konstruirovaniya. Spravochno-metodicheskoye posobiye v 3-kh knigakh. Kn. 1. Izd. 2-ye, pererab. i dop.], Mashinostroeniye, Moscow, 623 p.

Надійшла до редакції 15.06.2020 р.

Тимошевський Борис Георгійович – доктор техн. наук, професор, завідувач кафедри «Двигуни внутрішнього згоряння, установки та технічна експлуатація», Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, Україна, e-mail: borys.tymoshevskiy@nuos.edu.ua, тел.: +380509482222, Orcid Athor ID: 0000-0002-4649-702X.

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, Orcid Athor ID: 0000-0003-3460-5369.

Проскурін Аркадій Юрійович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри «Двигуни внутрішнього згоряння, установки та технічна експлуатація», Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, Україна, e-mail: arkadii.proskurin@nuos.edu.ua, тел.: +380932048026, Orcid Athor ID: 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, Orcid Athor ID: 0000-0003-4351-7504.

ВЫБОР ЗАЗОРОВ ЦИЛИНДРО-ПОРШНЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ РОТОРНО-ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Б.Г. Тимошевский, А.С. Митрофанов, А.Ю. Проскурин, А.С. Познанский

Рассмотрено и проанализировано влияние величины зазора цилиндра-поршневого соединения роторно-поршневого пневмодвигателя РПД-4,4/17,5 новой конструкции на его работоспособность и надежность. Анализ зазора был выполнен с учетом материала, из которого изготовлены соединительные пары (поршень и рабочий цилиндр), и их рабочей температуры. В качестве материала для изготовления поршней роторно-поршневого пневмодвигателя в первом случае был выбран алюминиевый литейный сплав АК12М2МгН, а во втором - чугун с шарообразным графитом ВЧ 50. В качестве материала для изготовления рабочего цилиндра (фактически - ротора) роторно-поршневого пневмодвигателя в обоих случаях был избран чугун с шарообразным графитом ВЧ 50. Диапазон изменения температуры был избран основываясь на предыдущих экспериментальных исследованиях опытного образца роторно-поршневого пневмодвигателя РПД-4,4/17,5. Так, выбранный диапазон температур составляет от -25 до 100 °С. Минимальное значение температуры обусловлено низкой температурой отработанного воздуха в выпускном ресивере пневмодвигателя, а максимальное - температурой возможного подогрева сжатого воздуха на входе во впускной ресивер пневмодвигателя. Разработаны практические рекомендации по выбору оптимального зазора цилиндра-поршневого соединения роторно-поршневого пневмодвигателя РПД-4,4/17,5 и установлено, что номинальный торцевой зазор, который обеспечивает нормальную работу в диапазоне температур от -25...100 °С, для чугунного поршня и чугунного рабочего цилиндра составляет 25 мкм, а для варианта изготовления поршня из алюминиевого сплава - 33 мкм. Предложенные торцевые зазоры не превышают рекомендованных значений для подобных соединительных деталей подобных агрегатов. Правильность выбранных торцевых зазоров соединительных деталей также была подтверждена стендовыми испытаниями опытного образца роторно-поршневого пневмодвигателя с последующей дефектацией деталей. Определено, что превышение температуры в 100 °С для варианта изготовления поршня из алюминиевого сплава приводит к задиру поверхности рабочего цилиндра, заклинивание поршня с последующим обрывом подвижных звеньев и повреждением бобышек поршня.

Ключевые слова: зазор; роторный пневмодвигатель; рабочий цилиндр; поршень; соединение.

SELECTION OF CYLINDER-PISTON CLEARANCES OF ROTOR-PISTON ENGINES

B.G. Tymoshevskyy, O.S. Mytrofanov, A. Y. Proskurin, A. S. Poznanskyi

The effect of the clearance amount of the cylinder-piston connection of the new design RPD-4.4/17.5 rotary-piston pneumatic engine on its performance and reliability is considered and analyzed. The clearance analysis was carried out taking into account the material from which the connecting pairs (piston and working cylinder) are made, and their operating temperature. In the first case, AK12M2MgN aluminum casting alloy was selected as a material for the manufacture of pistons of a rotary-piston pneumatic engine, and in the second case, cast iron with spherical graphite VCh 50 was selected. In both cases cast iron with spherical graphite HF 50 was selected as a material for manufacturing the working cylinder (actually, the rotor) of a rotary-piston pneumatic engine. The temperature change range was selected based on previous experimental studies of a prototype RPD-4.4/17.5 rotary piston pneumatic engine. Thus, the selected temperature range is from -25 to 100° C. The minimum temperature is due to the low temperature of the exhaust air in the pneumatic engine exhaust receiver, and the maximum is the temperature of the possible heating of the compressed air at the inlet to the inlet receiver of the pneumatic engine. Practical recommendations have been developed for choosing the optimal clearance of the cylinder-piston connection of the RPD-4.4/17.5 rotary-piston pneumatic motor and it has been found that the nominal end clearance, which ensures normal operation in the temperature range from -25...100° C, for a cast-iron piston and a cast-iron working cylinder is 25 microns, and for a variant of manufacturing a piston from an aluminum alloy - 33 microns. The proposed end clearances do not exceed the recommended values for similar connecting parts of such units. The correctness of the selected end clearances of the connecting parts has also been confirmed by bench tests of a prototype rotary piston pneumatic engine with subsequent fault finding of parts. It has been determined that a temperature increase of 100° C for an aluminum alloy piston manufacturing option results in a scuffing on the working cylinder surface, jamming of the piston followed by breakage of the movable links and damage to the piston bosses.

Keywords: clearance; rotary pneumatic engine; cylinder; piston; connection.