

DOI [https://doi.org/10.15589/znp2019.1\(475\).7](https://doi.org/10.15589/znp2019.1(475).7)
УДК 621.438

STAND FOR TEST AND RESEARCH OF ROTOR-PISTON ENGINES

СТЕНД ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ РОТОРНО-ПОРШНЕВИХ ДВИГУНІВ

Oleksandr S. Mytrofanov
mitrofanov.al.ser@gmail.com
ORCID: 0000-0003-3460-5369

О. С. Митрофанов,
канд. техн. наук, доцент

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

Abstract. The design and main parameters of the prototype rotary piston expansion engine 12RPD-4,4/1,75 are considered. The engine design provides easy start-up at any position of the power take-off output shaft, and also due to the presence of a central control cam shaft, it makes it possible to adjust the operating modes by changing the angle of start of the inlet of the working fluid (cylinder filling value, which is in the range 0,135... 0,175) Due to the evenly spaced twelve cylinders and a small value, the ratio of the stroke of the piston to the diameter of the cylinder ($S/D = 0,4$) rotary piston engine has a high balance, more compact and lightweight, has minimal pressure loss at the inlet and slight backpressure at the outlet. The proposed design of the movement mechanism ensures the absence of theoretical harmful dead volume, while the relative dead volume is only 0,015 and is due to technological gaps. The designed 12RPD-4,4/1,75 rotary piston engine is cheaper and more technologically advanced to manufacture, low noise, reliable and easy to operate and maintain, has a high mechanical and effective efficiency due to the reduction of the friction forces of the connecting elements and leaks of the working fluid, and also a high degree of uniformity of rotation and uniform torque. On the basis of the machine-building enterprise Motor Plus LLC, together with the Center for Advanced Energy Technologies of the National University of Shipbuilding, an experimental stand was developed and manufactured on the basis of a prototype 12RPD-4,4/1,75 rotary piston engine, as well as a data measurement and recording system. The general scheme and description of the operation of the experimental stand and measurement system is presented. The stand allows you to determine the basic parameters of the working process, as well as changing effective indicators depending on the operating mode and parameters of the working fluid at the engine inlet. This will further improve the proposed design, as well as obtain the necessary data for the design and calculation of promising engines.

Key words: compressed air; rotary piston engine; dead volume; degree of filling; movement mechanism; experimental stand.

Анотація. Розглянуто конструкцію та основні параметри дослідного зразка роторно-поршневого розширювального двигуна 12РПД-4,4/1,75. Конструкція двигуна забезпечує легкий пуск при будь-якому положенні вихідного вала відбору потужності, а також завдяки наявності центрального регулюючого кулачкового вала дає можливість регулювати режими роботи за рахунок зміни кута початку впуску робочого тіла (ступеня наповнення циліндра, значення якого знаходиться у межах 0,135...0,175). Завдяки рівномірно розміщеним дванадцятьом циліндрам та малому значенню відношення ходу поршня до діаметра циліндра ($S/D = 0,4$) роторно-поршневий двигун має високу врівноваженість, є більш компактним і легким, має мінімальні втрати тиску при впуску й незначний протитиск на випуску. Запропонована конструкція механізму руху забезпечує відсутність теоретичного шкідливого мертвого об'єму, при цьому значення відносного мертвого об'єму становить лише 0,015 та зумовлене технологічними щілинами. Спроектований роторно-поршневий двигун 12РПД-4,4/1,75 більш дешевий і технологічний у виготовленні, малошумний, надійний і простий в експлуатації та обслуговуванні, має підвищений механічний і ефективний ККД за рахунок зменшення сил тертя сполучних елементів та витоків робочого тіла, а також високий ступінь рівномірності обертання й рівномірний крутний момент. На базі машинобудівного підприємства ТОВ «Мотор-Плюс» спільно із Центром перспективних енергетичних технологій Національного університету кораблебудування розроблено та виготовлено експериментальний стенд на основі дослідного зразка роторно-поршневого двигуна 12РПД-4,4/1,75, а також систему вимірювання й фіксації даних. Подано загальну схему та опис роботи експериментального стенда й системи вимірювання. Стенд дозволяє визначати основні параметри робочого процесу, а також змінення ефективних показників залежно від режиму роботи та параметрів робочого тіла на вході в двигун. Це дасть змогу вдосконалити запропоновану конструкцію, а також отримати необхідні дані для проектування та розрахунку перспективних двигунів.

Ключові слова: стиснене повітря; роторно-поршневий двигун; мертвий об'єм; ступінь наповнення; механізм руху; експериментальний стенд.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Широке застосування розширювальних машин у різних галузях промисловості (хімічній, нафтохімічній та гірничодобувній, авіації, підводних технічних засобах) зумовлене їх перевагами над електричними двигунами. Так, до основних переваг можна віднести пожежну безпеку, простоту конструкції (що забезпечує високу надійність, ремонтпридатність та легкість технічного обслуговування), а також низькі масогабаритні показники. До головних недоліків розширювальних машин належать висока питома витрата стисненого повітря та обмежений запас стисненого робочого тіла (об'єм витратних балонів). Ці та інші фактори зумовлюють необхідність забезпечення ефективного використання енергії стисненого робочого тіла. Для вирішення цих та багатьох інших проблем, пов'язаних із застосуванням розширювальних машин в енергетичних установках різного призначення, необхідне подальше технічне вдосконалення вже наявних або, що є більш перспективним, створення принципово нових двигунів з високими значеннями ефективних показників.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Останнім часом досить інтенсивно розвивається напрям дослідження застосування розширювальних машин в енергетичних установках транспортних засобів. Це зумовлено необхідністю вирішення проблеми забруднення навколишнього середовища транспортними засобами. Так, у Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті створено дослідний зразок гібридної силової установки транспортного засобу на базі конвертованого бензинового двигуна з повітряним охолодженням МемЗ-968 [1; 2].

Значний вклад у розвиток досліджень теорії робочих процесів пневмодвигунів зробили такі вітчизняні вчені: Ф.І. Абрамчук, А.М. Туренко, В.О. Богомолів, О.І. Воронков, А.І. Харченко, С.С. Жилін, І.М. Нікітченко та інші [3; 4]. Також у цьому напрямі вели експериментальні й теоретичні дослідження зарубіжні вчені [5; 6].

Унаслідок розширення повітря відбувається інтенсивне охолодження двигуна, що має негативний вплив на систему змащення та показники ефективності. З огляду на це значна увага приділяється дослідженню впливу підігріву стисненого повітря на показники ефективності робочого процесу пневмодвигуна, а також визначенню мінімального значення на вході в двигун залежно від умов експлуатації [7; 8].

ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕ ВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Незалежно від призначення енергетичної установки та умов її експлуатації пневмодвигун повинен забезпечувати мінімальну питому ефективну витрату

стисненого робочого тіла при заданих значеннях потужності й крутного моменту на всіх режимах експлуатації. Крім того, двигун повинен забезпечувати мінімальні масогабаритні показники, бути надійним та простим в експлуатації й ремонті. Більшість дослідників для енергетичних установок транспортних засобів [9–13] або підводних апаратів [14] використовує конвертовані поршневі двигуни. Поршневі бензинові двигуни, які є основою для конвертації, мають відмінний від пневмодвигунів принцип роботи (це пов'язано з процесами згоряння й газообміну), а також загальну конструкцію та відповідні системи. Конвертація двигуна внутрішнього згоряння у розширювальну машину не дозволяє повністю задовольнити всі зазначені вище вимоги, тому більш раціональним є проектування та виготовлення нового двигуна.

Мета дослідження – розробка експериментального стенда на базі роторно-поршневого двигуна та системи вимірювання, а також методики комплексного експериментального дослідження енергоустановок різного призначення, що дозволить отримати необхідні експериментальні дані для подальшого вдосконалення дослідних зразків роторно-поршневих двигунів різного призначення і створення математичної моделі розрахунку робочого циклу двигуна.

МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Оскільки роторно-поршневий двигун має відмінну від інших пневмодвигунів конструкцію, яка поєднує у собі переваги поршневих та роторних двигунів, то робочі процеси у ньому проходять дещо інакше. У першому наближенні математичний опис робочого процесу можна записати відомими рівняннями, однак для підвищення точності та розширення меж застосування моделі в неї потрібно внести емпіричні залежності й коефіцієнти. Для цього застосовується метод фізичного моделювання робочих процесів в енергетичних установках різного призначення на базі роторно-поршневих двигунів нової конструкції. Це дозволить не тільки однозначно визначитися з правомірністю прийнятих припущень і адекватністю математичної моделі, а й переконатися в працездатності даної енергетичної установки. Крім того, результати експериментального дослідження дадуть змогу отримати достовірні дані про деякі маловивчені процеси, які важко отримати іншими методами.

Об'єктом дослідження є енергетичні установки на базі роторно-поршневих двигунів та процеси перетворення енергії робочого тіла в них.

Предмет дослідження – роторно-поршневий двигун та їх характеристики роботи у складі енергетичних установок.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

На базі машинобудівного підприємства ТОВ «Мотор-Плюс» сумісно із Центром перспективних

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

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



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

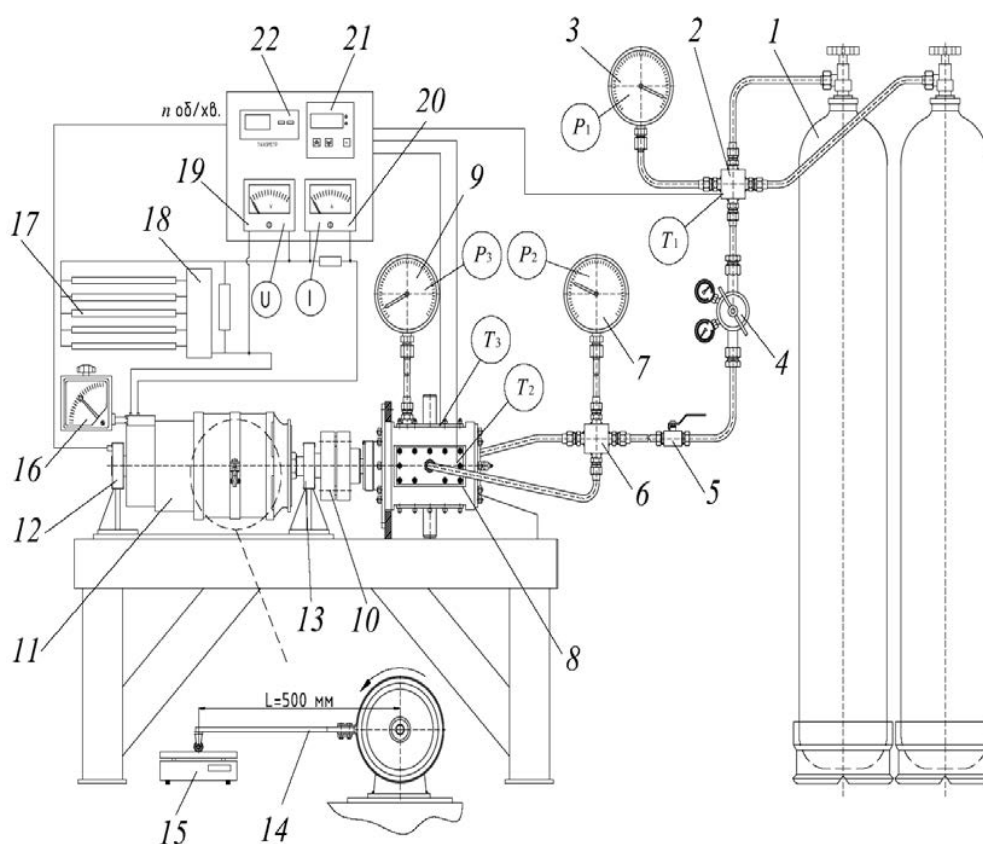


Рис. 2. Принципова схема експериментальної установки з роторно-поршневим двигуном 12РПД-4,4/1,75

енергетичних технологій Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова був розроблений та створений експериментальний стенд для випробувань і досліджень дослідного зразка роторно-поршневого двигуна 12РПД-4,4/1,75 (рис. 1). Схема експериментального стенда зображена на рис. 2, а фотографії – на рис. 3.

Основні параметри експериментального зразка роторно-поршневого двигуна РПД-4,4/1,75 наведені у табл. 1.

Конструктивно роторно-поршневий двигун складається з корпусу, в якому розміщений ротор з радіальними попарно опозитними дванадцятьма циліндрами та розташованими в них дванадцятьма поршнями. Рівномірне розміщення поршнів забезпечує врівноваженість двигуна та можливість пуску при будь-якому положенні ротора. Поршні пов'язані між собою за допомогою пальців і жорстких ланок з утворенням шарнірного чотирикутника, при цьому відношення ходи поршня S до діаметра циліндра D

дорівнює $S/D = 0,4$. Усередині шарнірного чотирикутника розміщено регулюючий кулачок, який забезпечує змінення фаз газорозподілу (регулює режим роботи двигуна за рахунок ступеня наповнення циліндра).

З балонів 1 (див. рис. 2) стиснене повітря потрапляє до розподільника високого тиску 2, до якого приєднаний манометр 3 для визначення тиску в балонах. Далі стиснене повітря надходить до повітряного редуктора 4, який знижує тиск до робочого значення. Після повітряного редуктора встановлений запірний кран 5 та розподільник низького тиску 6. У розподільнику низького тиску повітря розділяється на два потоки та надходить до впускних ресиверів роторно-поршневого двигуна 8. Тиск повітря перед двигуном визначається за допомогою манометра 7, приєднаного до розподільника низького тиску 6, а для визначення тиску відпрацьованого повітря в одному з впускних ресиверів встановлений манометр 9. Роторно-поршневий двигун навантажений



Рис. 3. Загальний вигляд експериментального стенда та панелі приладів на базі роторно-поршневого двигуна 12РПД-4,4/1,75

електрогенератором постійного струму ГС-24А 11. Двигун з'єднаний з електрогенератором за допомогою пружної втулково-пальцевої муфти 10, яка дозволяє компенсувати неточності центрування вихідних валів та зменшити динамічні навантаження. Залежно від режиму роботи потужність навантаження генератора встановлюється регулятором 16. Отримана електрична енергія через систему керування 18 іде на блок ТЕНів 17. Значення струму й напруги фіксуються на панелі приладів за допомогою вольтметра 19 та амперметра 20.

Для визначення крутного моменту двигуна електрогенератор постійного струму встановлений на опори 12 та 13, які дозволяють генератору вільно обертатися навколо своєї осі. До корпусу генератора приєднаний важіль для визначення крутного моменту 14 (довжина плеча $L = 500$ мм), який протилежним кінцем опирається на ваги 15. Для визначення частоти обертання вихідного вала на панелі приладів встановлений тахометр 22. Отримані значення крутного моменту та частота обертання дозволяють досить точно визначити ефективну потужність роторно-поршневого двигуна.

Температура робочого тіла в характерних точках визначається за допомогою термопар та вимірювача-регулятора багатофункціонального восьмиканального «ОВЕН» УКТ38-Щ4.ТП 21.

Для проведення досліджень нового зразка роторно-поршневого двигуна РПД-4,4/1,75 необхідно мати відновлювальний запас стисненого повітря високого тиску. Для цього був використаний компресор високого тиску К2-150 у складі установки компресорної ЕК2-150. Компресор призначений для забезпечення підприємств стисненим повітрям високого тиску (150 або 200 кгс/см²) або для забезпечення на судах пуску дизельних двигунів потужністю до 370 кВт.

Для зберігання стисненого повітря застосовуються балони середнього об'єму (40 л) з робочим тиском 15 МПа, виготовлені з безшовних труб та призначені для зберігання й транспортування стиснених газів за температури від -50 до $+60^\circ\text{C}$. Балони пройшли випробування відповідно до правил побудови та безпечної експлуатації посудин, які працюють під тиском, й отримали відповідні сертифікати.

Було проведено серію пусконаладжувальних випробувань експериментального стенда для перевірки працездатності двигуна та системи фіксації даних. Значення обертів роторно-поршневого двигуна змінювалися у діапазоні $308\dots702$ об/хв, тиск робочого тіла в ресивері двигуна коливався в межах $4,08\dots5,28$ кг/см², початкова температура газу в балонах була 28°C . Максимальне падіння температури робочого тіла становило $21,8^\circ\text{C}$, а мінімальна температура коливалася у межах $13,3\dots6,2^\circ\text{C}$. Залежно від навантаження двигуна ($N_e = 0,18\dots1,48$ кВт)

питома ефективна витрата робочого тіла становила $g_e = 171,4\dots64,5$ кг/кВт·год.

ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Пусконаладжувальні випробування експериментального стенда на базі роторно-поршневого двигуна 12РПД-4,4/17,5 підтвердили працездатність двигуна та системи вимірювання. Отримані перші дані дозволяють скорегувати методику проведення досліджень, а саме режим роботи. Попередній аналіз результатів випробування роторно-поршневого двигуна на експериментальному стенді свідчить, що у робочому циліндрі не відбувається різкого розширення газу, що є позитивним фактором. Так, значення мінімальної температури робочого тіла не падає нижче нуля ($6,2^\circ\text{C}$), хоча значно зменшується відносно початкового значення (28°C). Цей фактор потрібно враховувати при подальших випробуваннях на більших потужностях та тиску на вході у двигун, а також при експлуатації за низьких температур наволишнього середовища. Не виключається необхідність попереднього підігріву стисненого робочого тіла.

З підвищенням тиску на вході в двигун, а також потужності двигуна питома ефективна витрата стисненого робочого тіла значно зменшується ($g_e = 171,4\dots64,5$ кг/кВт·год). З огляду на це для забезпечення мінімальної витрати робочого тіла на різних режимах роботи необхідно визначити оптимальні значення та співвідношення параметрів робочого тіла на вході в двигун, обертів і значення ступеня наповнення циліндра. Вирішення цих та багатьох інших проблем, пов'язаних, зокрема, з використанням роторно-поршневих двигунів нової конструкції в енергетичних установках різного призначення, потребує подальшого більш глибокого експериментального й теоретичного дослідження.

ВИСНОВКИ

1. Розроблено й створено експериментальний стенд із системою вимірювання для дослідження роторно-поршневих двигунів нової конструкції, який дає змогу отримувати достовірні експериментальні дані для подальшого вдосконалення наявної конструкції та проектування перспективних зразків.

2. Проведено пусконаладжувальні випробування експериментального стенда та системи вимірювання. Отримано первинні дані щодо змінення ефективних показників роботи роторно-поршневого двигуна, що дозволять вибрати шляхи підвищення цих показників.

3. Установлено, що значний вплив на зменшення питомої ефективної витрати стисненого робочого тіла мають такі значення: значення тиску на вході в двигун, кількість обертів, а також значення ступеня наповнення циліндра, яке регулюється поворотом кулачкового вала.

REFERENCES

- [1] Voronkov, A. I. (2015). Izmeneniye effektivnykh ekonomicheskikh pokazateley raboty pnevmodvigatelya po skorostnym kharakteristikam [Changing in the effective economic performance of the pneumatic engine according to speed characteristics]. *Vestnik KHNADU: sb. nauch. tr.* [KNAHU Bulletin: Collection of Scientific Publications], vol. 68, 57-61.
- [2] Voronkov, O. I. (2017). *Metodolohiia orhanizatsii robochoho protsesu pnevmodyhuna kombinovanoi enerhetychnoi ustanovky miskoho avtomobilia*, Dokt., Diss. [Methodology of organization for the working process of a pneumatic engine of combined power plant for a city car. Doct. Diss.]. Kharkiv.
- [3] Voronkov, A. I., & Nikitchenko, I. N. (2015). *Rabochiy protsess avtomobilnogo pnevmodvigatelya: monografiya* [Working process of an automotive pneumatic engine: monograph]. Kharkov: KNAHU Publ.
- [4] Voronkov, O. I., Lisina, O. Yu., & Nikitchenko, I. N. (2014). Vyznachennia chasu peretynu v zolotnykovomu rozpodilnyku pnevmodyhuna [Determination of the time of crossing in the spool distributor of a pneumatic engine]. *Avtomobilnyy transport: sbornik nauch. trudov KHNADU* [Road transport: Collection of Scientific Publications of KNAHU], 34, 39-43.
- [5] Qihui, Yu., & Maolin, Cai (2015). Experimental Analysis of a Compressed Air Engine. *Journal of Flow Control, Measurement & Visualization*, 3, 144-153. <http://dx.doi.org/10.4236/jfcmv.2015.34014>.
- [6] Bhardwajsinh, Mahida, & Dipak, C. Gosai (2015). An Experimental Study on I.C. Engine Using Compressed Air as Alternate of Fuel. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, December, Vol. 4, 12, 1787-1791.
- [7] Voronkov, A. I., Teslenko, E. V., & Udovik, T. A. (2016). Opredeleniye minimalno neobkhodimogo podogreva szhatogo vozdukh na vkhode v avtomobilnyy pnevmodvigatel pri razlichnykh usloviyakh [Determination of the minimum necessary heating of compressed air at the entrance to an automotive pneumatic engine under various operating conditions]. *Vestnik KHNADU: sb. nauch. tr.* [KNAHU Bulletin: Collection of Scientific Publications], Vol. 75, 100-108.
- [8] Voronkov, A. I. (2016). Vliyaniye podogreva vozdukh na effektivnyye pokazateli rabocheho protsessa pnevmodvigatelya [Influence of air heating on effective performance of the working process of a pneumatic engine]. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya: vseukr. nauch.-tekhn. zhurn. NTU «KHPI»* [Internal combustion engines: All-Ukrainian Scientific and Technical Journal of NTU «KPI»].
- [9] Kunt, Akif M. (2016). Transformation of a Piston Engine into a Compressed Air Engine with Rotary Valve. *SSRG International Journal of Mechanical Engineering (SSRG – IJME)*, November, Vol. 3, 11, 1-5.
- [10] Rixon, K. L. Mr., Mohammed, Shareef V., Prajith, K. S., Sarath, K., Sreejith, S., & Sreeraj, P. (2016). Fabrication of Compressed Air Bike. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, March, Vol. 3, 3, 1863-1866.
- [11] Sayyad, I., Karandikar, Aniket, Murkute, Anuja, Karmankar, Ravikiran, & Wagh, Madhavi (2016). Compressed Air Vehicle. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, June, Vol. 4, VI, 82-88.
- [12] Pramod, Kumar J. (2016). Air powered engine. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, March–April, Vol. 7, 66-72.
- [13] Wagh, Radheshyam, Nikam, Sagar, Salame, Yogesh, & Chopra, Swamini (2016). Conversion of Single Cylinder 2-Stroke Petrol Engine Into Compressed Air Engine Using A Cam-Operated Dcv. *International Journal On Recent And Innovation Trends In Computing*, 4 (4), 24-28.
- [14] Tulumbasov, V. V. (2014). Pnevmaticheskyy podvodnyy buksirovshchik [Pneumatic Underwater Tug]. *Bulletin of the KIGIT*, S1, 19-23.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Воронков А.И. Изменение эффективных экономических показателей работы пневмодвигателя по скоростным характеристикам. *Вестник ХНАДУ* : сб. науч. тр. 2015. № 68. С. 57–61.
- [2] Воронков О.И. Методологія організації робочого процесу пневмодвигуна комбінованої енергетичної установки міського автомобіля : дис. ... докт. технічних наук : 05.05.03, Харків, 2017.
- [3] Воронков А.И., Никитченко И.Н. Рабочий процесс автомобильного пневмодвигателя : монография. Харьков : ХНАДУ, 2015.
- [4] Воронков О.И., Лісіна О.Ю., Нікітченко І.М. Визначення часу перетину в золотниковому розподільнику пневмодвигуна. *Автомобільний транспорт* : сб. науч. тр. ХНАДУ. 2014. № 34. С. 39–43.
- [5] Qihui Yu, Maolin Cai. Experimental Analysis of a Compressed Air Engine. *Journal of Flow Control, Measurement & Visualization*. 2015. № 3. P. 144 –153. URL: <http://dx.doi.org/10.4236/jfcmv.2015.34014>.
- [6] Bhardwajsinh Mahida, Dipak C. Gosai. An Experimental Study on I.C. Engine Using Compressed Air as Alternate of Fuel. *International Journal of Science and Research (IJSR)*. December, 2015. Vol. 4, 12. P. 1787–1791.
- [7] Воронков А.И., Тесленко Э.В., Удовик, Т.А. Определение минимально необходимого подогрева сжатого воздуха на входе в автомобильный пневмодвигатель при различных условиях эксплуатации. *Вестник ХНАДУ* : сб. науч. тр. 2016. № 75. С. 100–108.
- [8] Воронков А.И. Влияние подогрева воздуха на эффективные показатели рабочего процесса пневмодвигателя. *Двигатели внутреннего сгорания* : Всеукр. науч.-техн. журн. НТУ «ХПИ». 2016.
- [9] Kunt Akif M. Transformation of a Piston Engine into a Compressed Air Engine with Rotary Valve. *SSRG International Journal of Mechanical Engineering (SSRG – IJME)*. November, 2016. Vol. 3, 11. P. 1–5.
- [10] Rixon K.L. Mr., Mohammed, Shareef V., Prajith K.S., Sarath K., Sreejith S., Sreeraj P. Fabrication of Compressed Air Bike. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. March, 2016. Vol. 3, 3. P. 1863–1866.

- [11] Sayyad I., Karandikar Aniket, Murkute Anuja, Karmankar Ravikiran, Wagh Madhavi. Compressed Air Vehicle. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*. June 2016. Vol. 4, VI. P. 82–88.
- [12] Pramod Kumar J. Air powered engine. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, March–April 2016. Vol. 7. P. 66–72.
- [13] Wagh Radheshyam, Nikam Sagar, Salame Yogesh, Chopra Swamini (). Conversion of Single Cylinder 2-Stroke Petrol Engine Into Compressed Air Engine Using A Cam-Operated Dcv. *International Journal On Recent And Innovation Trends In Computing*. 2016. № 4 (4). P. 24–28.
- [14] Тулумбасов В.В. Пневматический подводный буксировщик. *Вестник КИГИТ*. 2014. № 1. С. 19–23.