

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ПНЕВМАТИЧНИХ ДВИГУНІВ

Тесленко Е. В., асистент,

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Автором (у співавторстві) модернізовано моторний стенд, що дозволяє здійснювати такі види робіт: забезпечити стендову систему живлення пневмодвигуна необхідним об'ємом стисненого повітря в робочому діапазоні зміни навантажень і швидкісних режимів; здійснити індукування циліндрів і дослідження робочих процесів пневмодвигуна під час його роботи зі швидкісних характеристик у необхідних діапазонах зміни тиску стисненого повітря на вході $p_s = 0,3\text{--}2,0$ МПа і частот обертання колінчастого вала $n = 200\text{--}4000$ хв⁻¹; дослідити вплив на індикаторні та ефективні показники роботи пневмодвигуна температури стиснутого повітря, що подається, з підігрівом на вході в діапазоні $t_s = 20\text{--}120$ °С.

Ключові слова: моторний стенд, пневмодвигун, робочий процес, комбінована енергетична установка.

Вступ

Для робочого процесу енергетичних установок переважно застосовують гальмівні моторні стенди.

На них з необхідною точністю можна проводити експериментальні дослідження різних енергетичних установок. Однак для конкретного об'єкта дослідження необхідно створювати стенди, які найбільше відповідають їм.

Автором (у співавторстві) модернізовано моторний стенд для дослідження робочих процесів пневмодвигунів для застосування на автомобільному транспорті у складі комбінованої енергетичної установки.

Аналіз публікацій

Процеси проектування та виготовлення стендів і методик випробування на них досліджували вітчизняні та закордонні автори [1–6].

Залежно від виду досліджень стенди оснащуються різноманітними вимірювальними комплексами [7], що дозволяють здійснювати вимірювання індикаторного тиску [8], тиску та температури повітря на впуску в циліндрі двигуна і на випуску [5, 7], визначати температури різних середовищ, потоків і деталей двигуна [11], досліджувати характеристики та закони подачі паливної апаратури [10], проводити швидкісні кінозйомки та інші методи дослідження [9].

На кафедрі ДВЗ ХНАДУ розроблено моторні стенди, що дозволяють проводити дослідження різноманітних ДВЗ з необхідним забезпеченням дослідницької апаратури. Од-

нак за допомогою цих розробок не можна повною мірою дослідити пневмодвигуни.

Ціль і завдання дослідження

Метою та науковою новизною дослідження є розроблення, що складається з проектування, розрахування та виготовлення експериментального моторного стенда для проведення експериментальних досліджень пневмодвигуна.

Передбачалася можливість вирішення за допомогою цього стенда таких **основних завдань**:

- забезпечення стендовою системою живлення ПД необхідних обсягів стисненого повітря в робочому діапазоні за навантажувальними та швидкісними характеристиками;
- здійснення індукування циліндрів і дослідження робочого процесу ПД під час його роботи за швидкісними характеристиками в необхідних діапазонах зміни тиску стисненого повітря на вході $p_s = 0,3\text{--}2,0$ МПа та частот обертання колінчастого вала $n = 200\text{--}4000$ хв⁻¹;
- дослідження впливу на індикаторні й ефективні показники роботи ПД температури подачі стисненого повітря способом його підігріву на вході в діапазоні $t_s = 20\text{--}120$ °С.

Конструктивні особливості моторного стенда

Загальний вигляд стенда для експериментального дослідження робочого процесу ПД наведено на рис. 1.



Рис. 1. Загальний вид станда для дослідження ПД

Системи та комплекс контрольно-виміральної апаратури дозволяють підтримувати задані режимні параметри, контролювати тепловий стан ПД, вимірювати з необхідною точністю параметри робочого процесу та всі його основні показники роботи.

Вимірювальна апаратура станда дозволяє здійснювати такі процеси:

- вимірювання параметрів режиму роботи установки для підігріву повітря на вході;
- вимірювання параметрів робочих процесів ПД за допомогою спеціальних датчиків;
- оброблення експериментальних даних за допомогою персонального комп'ютера з використанням спеціального програмного забезпечення;
- візуальну репрезентацію отриманої інформації, а також результатів її оброблення й аналізу у графічному вигляді на екрані ПК, виведення на друк результатів вимірювання та оброблення інформації у табличному та графічному режимах на принтері;
- збереження та копіювання експериментальних даних і результатів оброблення, їх накопичення для подальшого аналізу.

На рис. 2 наведено функціонально-структурну схему експериментальної установки. Нижче подана коротка характеристика основних систем, що забезпечують роботу станда.

Стенд створювався з дотриманням вимог, відповідно до стандартів [2, 3], що забезпечують здійснення таких процесів:

а) проведення випробувань ПД на різних швидкісних і навантажувальних режимах в експлуатаційних діапазонах заданих режимних параметрів;

б) визначення ефективних параметрів роботи ПД:

- ефективної потужності N_e , кВт;
- ефективного крутного моменту M_e , Н · м;
- частоти обертання колінчастого вала n , хв⁻¹;
- вартових витрат стисненого повітря G_r , кг/год;
- тиску та температури стисненого повітря на вході в ПД p_s , МПа, і T_s , °С;
- тиску та температури відпрацьованого повітря на виході з ПД, МПа і T_v , °С;

в) індикування циліндра з метою визначення індикаторних параметрів робочих процесів ПД;

г) осцилографування тиску в повітряних каналах системи впуску-випуску ПД (у разі необхідності).

Для визначення крутного моменту, що розвивається ПД на експериментальному стенді, використовується електрична балансирна машина постійного струму МПБ 32,7/28 (рис. 2). Потужність електричної балансирної машини – $N_e = 25,1$ кВт; частота обертання – $n = 4000$ хв⁻¹; сила струму – $I = 109$ А; напруга – $V = 230$ В; опір – $R = 2,11$ Ом; регулювання електричного навантаження здійснюється зміною незалежного збудження.

Для визначення сили навантаження P_n на стенді використовується ваговий термінал КОДА-2 (поз. 3), що вимірює аналоговий сигнал чутливого елемента тензодатчиків і результати вимірювань на дисплей 6. Термінал забезпечує безпосереднє під'єднання тензорезисторних мостових датчиків. Опір навантаження терміналу становить щонайменше 30 Ом. Термінал має індикатор, клавіатуру керування й інтерфейс для зв'язку з комп'ютером та передачі інформації з використанням протоколів.

Калібрування терміналу здійснюють без зовнішніх регулювальних елементів зі збереженням кодів налаштувань у пристрої.

Стендова система живлення ПД стисненим повітрям від балонів (рис. 2) складається з блока балонів високого тиску (до 20 МПа) 41, сталевих трубок високого тиску 40, рамп з трубопроводом 21, запірного крана 38, газового рампового редуктора РК3-60 тиску p_s , повітряного фільтра 33, витратоміра G160 GMS DY-80 31, повітряного ресивера низького тиску 19 для згладжування пульсацій тиску перед витратоміром, електричного нагрівача 46, повітряного фільтра 18 і з'єднувальних трубопроводів.

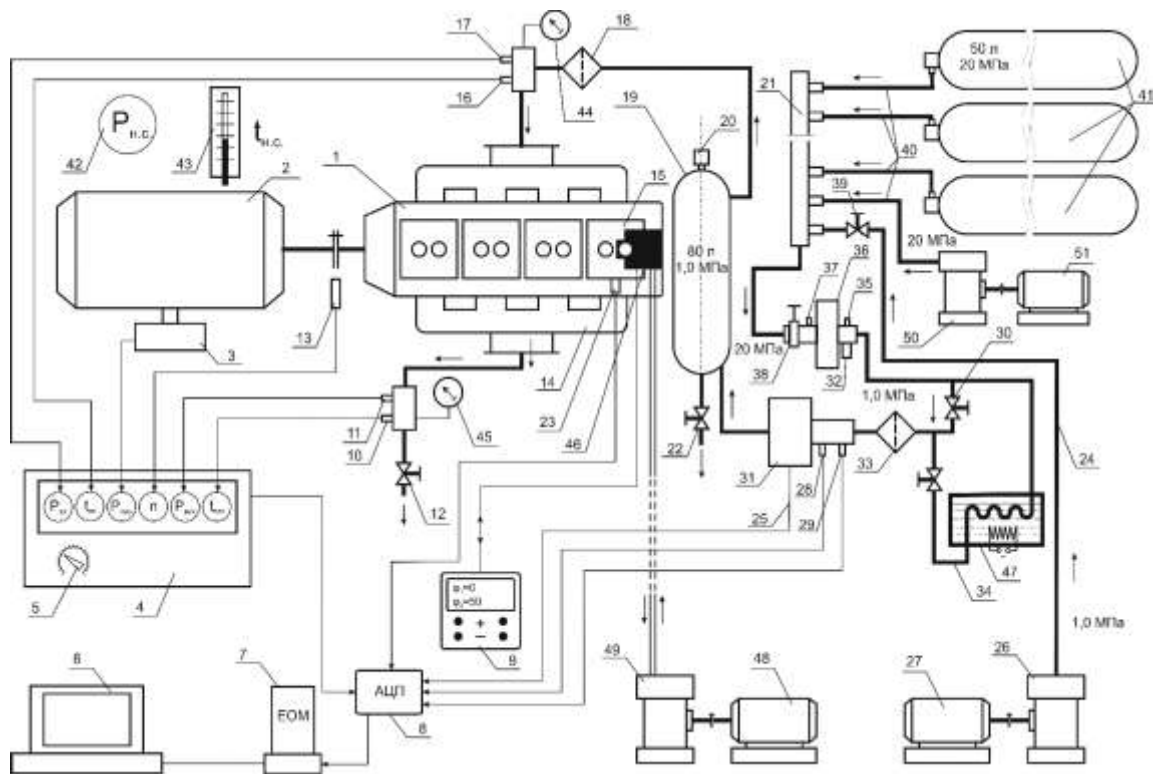


Рис. 2. Схема експериментального станда: 1 – пневмодвигун; 2 – електрична балансна машина; 3 – ваговий термінал; 4 – пульт керування; 5 – пульт керування корисним навантаженням; 6 – дисплей; 7 – електронно-обчислювальна машина; 8 – аналогово-цифровий перетворювач (АЦП); 9 – блок керування електрогідравлічним клапаном; 10 – датчик температури; 11 – датчик тиску; 12 – регулювальний кран; 13 – індуктивний датчик частоти обертання; 14 – випускний колектор пневмодвигуна; 15 – головка циліндра; 16 – датчик температури; 17 – датчик тиску; 18 – фільтр; 19 – повітряний ресивер низького тиску; 20 – запобіжний клапан; 21 – повітряна рампа високого тиску; 22 – дренажний вентиль; 23 – датчик індикування циліндра; 24 – сталева труба високого тиску; 25 – інформаційний канал витрати стисненого повітря; 26 – чотириступінчастий поршневий компресор для накачування балонів високого тиску; 27 – електродвигун приводу компресора; 28 – датчик тиску; 29 – датчик температури; 30 – кран регулювання тиску повітря перед ПД; 31 – витратомір; 32 – запобіжний клапан; 33 – фільтр; 34 – кран регулювання тиску та температури повітря перед ПД; 35 – пружинний манометр; 36 – газовий редуктор рамповий РК3-500-2; 37 – пружинний манометр; 38, 39 – запірні крани; 40 – сталеві труби високого тиску; 41 – балони для повітря високого тиску; 42 – барометр М67; 43 – ртутний термометр; 44, 45 – пружинні манометри; 46 – електрогідравлічний привід впускного клапана; 47 – електричний нагрівач стисненого повітря; 48 – електромотор живильної гідравлічної станції; 49 – живильна гідравлічна станція; 50 – живильний компресор; 51 – електродвигун живильного компресора

Для заправлення балонів 41 стисненим повітрям до 20 МПа на стенді використовується компресорна установка 26, 27 з чотириступінчастим поршневим компресором. З цієї установки повітря за допомогою крана 39 нагнітається безпосередньо в рампу 21, з'єднану з вентильми балонів.

Для вимірювання частоти обертання колінчастого вала на стенді використовуються лічильник імпульсів СІ8 та індуктивний датчик імпульсів 13. Для індикування циліндра використовується датчик Honeywell

MLH 250BSB 01A-46 23 з виведенням інформаційних сигналів за допомогою аналогово-цифрового перетворювача (АЦП) 8 та ЕОМ 7 на дисплей 6. Датчик індикування встановлено у свічковому отворі 1-го циліндра ПД. У деяких точках повітряного тракту здійснюється вимірювання тиску за допомогою механічних пружинних манометрів: на вході 44 та на виході 45 з ПД, на вході 37 та виході 35 з газового редуктора.

Температура стиснутого повітря на вході 16 і на виході 10 з ПД вимірюється термопа-

рами ХК (хромель-копель), і результати надходять на вимірювач-регулятор мікропроцесорний одноканальний ТРМ-1-Н.У.Г. ТУ 4211-016-46526536-2005 зі світлодіодним цифровим індикатором на пульті керування, а також на ЕОМ. Дані вимірювання тиску 28 та температури 29 стисненого повітря перед витратоміром та інформаційний сигнал величини витрати повітря за допомогою витратоміра надходять за допомогою АЦП до ЕОМ та виводяться на дисплей.

Вимірювання витрат повітря здійснюється витратоміром з визначенням часу вироблення обсягу повітря. Далі трубопроводом високого тиску повітря потрапляє в ПД.

У процесі дослідження вимірювалися такі величини:

- температура мастила в піддоні двигуна
- термopарами ТХК-(L); ГОСТ 6616-94 з реєстраційним приладом КВПІ-512І мінус 40 – плюс 300 °С, класом точності 0,5 та ціною розподілу шкали 2 °С;
- температура на вході до газового лічильника – термopарою ТХК-(L); ГОСТ 6616-94 та реєстраційним приладом КВПІ-503, мінус 40 – плюс 300 °С, класом точності 0,5 та ціною розподілу шкали 1 °С;
- температура повітря після газового редуктора РКЗ-500-2 – термopарою ТХК-(L); ГОСТ 6616-94 та реєстраційним приладом КВПІ-503, мінус 40 – плюс 300 °С, класом точності 0,5 та ціною розподілу шкали 1 °С;
- температура повітря перед ресивером – термopарою ТХК-(L); ГОСТ 6616-94, реєстраційним приладом КВПІ-512І, мінус 40 – плюс 300 °С, класом точності 0,5 та ціною розподілу шкали 1 °С;
- температура повітря на вході до циліндра – термopарою ХА мінус 40 – плюс 375 °С, ГОСТ 6616-94, встановленої в гільзі циліндра;
- температура повітря на виході з двигуна – термopарою ХА мінус 40 – плюс 375 °С;
- тиск у масляній магістралі – манометром ОБМ-100 з ціною поділу 0,02 МПа і за її межами вимірювання 0-0,1 МПа;
- тиск перед газовим лічильником – зразковим манометром;
- тиск на впуску – зразковим манометром;
- тиск на випуску – зразковим манометром;
- тиск повітря після газового редуктора РКЗ-500-2 – зразковим манометром;
- тиск перед ресивером – зразковим манометром;

– потужність ПД за величиною моменту, що крутить, на плечі балансируної машини, що з'єднана з ВКМ;

– частота обертання колінчастого вала – тахометром ТЕ-Д 15 з індуктивним датчиком;

– тиск у циліндрі за результатами оброблення знятих датчиком високого тиску індикаторних діаграм;

– температура навколишнього середовища – термометром ртутним;

– тиск навколишнього середовища – барометром М65.

Для підтримки заданого рівня температури стисненого повітря перед витратоміром 31 використовується електричний кожухотрубний водоповітряний нагрівач 9. Після витратоміра для регулювання температури повітря використовується повітряно-повітряний нагрівач 46, наведений на рис. 2.

Висновки

1. Розроблений моторний стенд дозволяє проводити експериментальні дослідження пневмодвигунів комбінованої енергетичної установки автомобіля.

2. Моторний стенд дозволяє здійснити такі процеси:

– забезпечити стендову систему живлення ПД необхідним обсягом стиснутого повітря в робочому діапазоні зміни навантажень та швидкісних режимів;

– здійснити індикування циліндрів і дослідження робочого процесу ПД під час його роботи за швидкісними характеристиками в необхідних діапазонах зміни тиску стисненого повітря на вході $p_s = 0,3\text{--}2,0$ МПа та частотах обертання колінчастого вала $n = 200\text{--}4000$ хв⁻¹;

– дослідити вплив на індикаторні й ефективні показники роботи ПД температури поданого стиснутого повітря способом його підігріву на вході в діапазоні $t_s = 20\text{--}120$ °С.

Розроблений моторний стенд призначений для проведення науково-дослідних робіт на навчальних, науково-виробничих підприємствах та в дослідницьких лабораторіях заводів.

Література

1. Практичні заняття з дослідження та випробування технічних систем: навч. посіб. / О. М. Артюх та ін. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2021. 136 с. ISBN 978-617-529-342-3
2. ДСТУ 3046-1:2004. Двигуни внутрішнього згорання поршневі. Характеристики. Ч. 1. Стан-

- дартні вихідні умови, оголошені потужність, витрати палива та мастильної оливи. Методи випробування. Національний стандарт України. Київ: ДП «Укр НДНЦ, 2004. 42 с.
3. Грицюк О. В. Створення експериментальної бази Харківського конструкторського бюро з двигунобудування. Двигуни внутрішнього згоряння. 2016 № 1. С. 89–93. DOI: 10.20998/0419-8719.2016.1.16
 4. Чикунів Ю. М. Теоретичне обґрунтування енергозберігаючої системи стендів для обкатки і випробування двигунів внутрішнього згоряння. Енергобезпека і енергозбереження. 2012. № 3. С. 23–25.
 5. Роговський І. Л., Тітова Л. Л., Надточій О. В. Випробування автомобілів і двигунів: початковий посібник. Київ: НУБіП України, 2021. 396 с. ISBN 978-617-7878-63-5
 6. Пікула М. В. *Основи технології виробництва та ремонту автомобілів. Рівне: НУВГП, 2024. ISBN 978-966-327-576-5*
 7. Абрамчук Ф. І., Воронков О. І., Харченко А. І. Стенд для випробування і дослідження пневмодвигунів. Двигуни внутрішнього згоряння. 2011. №2. С. 110–117.
 8. Погорілій Л. В., Анілович В. Я. Випробування сільськогосподарської техніки: науково-методичні засади оцінки та прогнозування надійності сільськогосподарських машин. Київ: Фенікс, 2004. 208 с.
 9. Прохоренко О. О., Мешков Д. В. Вибір раціональної кількості робочих циклів для усереднення індикаторної діаграми. Двигуни внутрішнього згоряння. 2006. № 2. С. 95–96.
 10. Перетворювач вимірювальний інтелектуальний ПВІ-111 Перетворювачі вимірювальні ПВ-109, ПВП-109 і ПВП-485 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://prom.ua/p16692890peretvoryuvach-vimiryuvalnij-intelektualnij.html>
 11. ШІМ регулятор швидкості двигуна 10-50В 40А 2000Вт PWM оборотів Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://prom.ua/ua/p900214211-shim-regulyator-skorosti.html>
 4. CHikunov, YU. M. (2012). Teoretichne obg`runtuvannya energozberi'gayuchoi` sistemi stendi'v dlya obkatki i' viprobuvannya dviguni'v vnutri'shn'ogo zgoryannya. Energobezpeka i' energozberejennya. № 3. S. 23–25.
 5. Rogov'skiy, I. L., Ti'tova, L. L., Nadtochi'y, O. V. (2021). Viprobuvannya avtomobi'li'v i' dviguni'v: nachal'niy posi'b'nik. Kii'v: NUBi'P Ukra-i'ni. 396 s. ISBN 978-617-7878-63-5
 6. Pi'kula, M. V. (2024) Osnovi tehnologi'i` virobni-ctva ta remontu avtomobi'li'v. NUVGP, Ri'vne. ISBN 978-966-327-576-5
 7. Abramchuk, F. I., Voronkov, O. I., Harchen-ko, A. I. (2011). Stend dlya viprobuvannya i' do-sli'djennya pnevmodviguni'v. Dviguni vnutri'shn'ogo zgoryannyayu. № 2. S. 110–117.
 8. Pogori'li'y, L. V., Ani'lovich, V. YA. (2004). Viprobuvannya si'l'skogospodars'koi` tehni'ki: naukovu-metodichni' zasadi oci'nki ta prognuzuvannya nadi'ynosti' si'l'skogospodars'kih mashin. Kii'v: Feni'ks. 208 s.
 9. Prohorenko, O. O., Me'shkov, D. V. (2006). Vibi'r raci'onai'noi` ki'l'kosti' robochih cikli'v dlya userednennya i'ndikatornoi` di'agrami. Dviguni vnutri'shn'ogo zgoryannya. № 2. – S. 95–96.
 10. Peretvoryuvach vimi'ryuval'niy i'ntelektual'niy PVI-111 Peretvoryuvachi' vimi'ryuval'ni' PV-109, PVP-109 i' PVP-485 [Elektronniy resurs]. Rejim dostupu: <https://prom.ua/p16692890peretvoryuvach-vimiryuvalnij-intelektualnij.html>
 11. SHIM regul'yator shvidkosti' dviguna 10-50V 40A 2000Vt PWM oboroti'v Elektronniy resurs]. Rejim dostupu: <https://prom.ua/ua/p900214211-shim-regulyator-skorosti.html>

References

1. Artyuh, O. M., Dudarenko, O. V., Kuz'mi'n, V. V. (2021). Praktichni' zanyattya z dosli'djennya ta viprobuvannya tehni'chnih sistem: navch. posi'b. Zaporiz'jya: NU «Zaporiz'z'ka poli'tehni'ka». 136 s. ISBN 978-617-529-342-3
2. DSTU 3046-1:2004. Dviguni vnutri'shn'ogo zgo-annya porshnevi'. Harakteristiki. CHastina 1. Standartni' vihi'dni' umovi, ogoi'losheni' potujni'st', vitrati paliva ta mastil'noi` olivi. Metodi viprobuvannya. Naci'onai'niy standart Ukra-i'ni. Kii'v: DP «UkrNDNC, 2004. 42 s.
3. Gricyuk, O. V. (2016). Stvorennya eksperi-men-tal'noi` bazi Harki'vs'kogo konstruktors'kogo byuro z dvigunobuduvannya. Dviguni vnutri'shn'ogo zgoryannya. № 1. S. 89–93. DOI: 10.20998/0419-8719.2016.1.16

Тесленко Едуард Вікторович, асистент,
кафедра двигунів внутрішнього згоряння
Харківський національний автомобільно-
дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого,
25, м. Харків, 61002, Україна.
+(380) 678538385,
teslenkoev21@gmail.com.

Experimental equipment for researching auto-motive pneumatic engines

Abstract. The author (in co-authorship) modernized the motor stand for the study of the working processes of pneumatic engines (PE), designed for use in road transport as part of a combined power plant. The measuring equipment of the stand allows for: measuring PE parameters without heating and with heating of compressed air at the inlet; measuring PE indicator diagrams using special sensors; processing experimental data using a personal computer and special software; To determine the load force P_n on the stand, the KODA-2 weighing terminal is used, designed to measure the analog signal of the sensitive element of strain gauges with the display of measurement results. The terminal provides direct connection of strain-resistor bridge sensors without additional connections. The terminal load resistance is at least 30 Ohms. The motor stand allows for the following operations:

- providing the PE bench power supply system with the required volume of compressed air in the operating range of load changes and speed modes;
- to perform cylinder indication and study the working process of the PD during its operation according to the speed characteristics in the required ranges of changes in the compressed air pressure at the inlet $PS = 0.3\text{--}2.0$ MPa and crankshaft rotation frequencies $n = 200\text{--}4000$ min⁻¹;
- to study the influence on the indicator and effective performance of the PD of the temperature of the supplied compressed air with heating at the inlet in the range.

Development of a motor stand intended for conducting scientific and research work in educational, scientific and production enterprises and research laboratories of factories.

Keywords: motor stand, pneumatic engine, working process, combined power plant.

Teslenko EV, assistant, Kharkiv National Automobile and Highway University
Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.
+(380) 678538385,
teslenkoev21@gmail.com.
