

ДВИГАТЕЛИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ И ДРУГИЕ СИЛОВЫЕ УСТАНОВКИ

УДК 621.43

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2018.83.0.29

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ С КЛАПАННЫМ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЕМ

Тесленко Э.В., аспирант,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Автором (в соавторстве) модернизирован моторный стенд, позволяющий выполнить следующие работы: обеспечить стендовую систему питания пневмодвигателя необходимым объемом сжатого воздуха в рабочем диапазоне изменения нагрузок и скоростных режимов; выполнить индицирование цилиндров и исследование рабочих процессов пневмодвигателя при его работе по скоростным характеристикам в необходимых диапазонах изменения давлений сжатого воздуха на входе $p_s = 0,3-2,0$ МПа и частот вращения коленчатого вала $n = 200-4000$ мин⁻¹; исследовать влияние на индикаторные и эффективные показатели работы пневмодвигателя температуры подаваемого сжатого воздуха с подогревом на входе в диапазоне $t_s = 20-120$ °С.

Ключевые слова: моторный стенд, пневмодвигатель, рабочий процесс, комбинированная энергетическая установка.

Введение

При доводке рабочего процесса энергетических установок в основном применяются тормозные моторные стенды. На таких стендах с необходимой точностью можно проводить экспериментальные исследования различных энергетических установок. Однако для конкретного объекта исследования необходимо создавать стенды, наиболее соответствующие данным исследованиям.

Автором (в соавторстве) модернизирован моторный стенд [1] для исследования рабочих процессов пневмодвигателей, рассчитанных для применения на автомобильном транспорте в составе комбинированной энергетической установки.

Анализ публикаций

Проектированию и изготовлению стендов и методик испытания на них уделяется достаточно большое внимание отечественных и зарубежных авторов, которые основываются на использовании известных работ и стандартов [2–6].

В зависимости от вида исследований стенды оснащаются различными измерительными комплексами [7], позволяющими проводить замеры: индикаторного давления [8], характеристик и законов подачи топливной аппаратуры [10], давлений и температур воздуха на впуске в цилиндре двигателя и на

выпуске [5, 7], температур различных сред, потоков и деталей двигателя [11], осуществление скоростных киносъемок и проведение других методов исследования [9].

На кафедре ДВС ХНАДУ разработаны моторные стенды, позволяющие проводить исследование различных ДВС с необходимым обеспечением исследовательской аппаратурой. Однако использование данных разработок не в полной мере подходит к исследованию пневмодвигателей.

Цель и задачи исследования

Целью и научной новизной исследования является разработка, включающая проектирование, расчет и изготовление экспериментального моторного стенда для проведения экспериментальных исследований пневмодвигателя.

При этом предполагалась возможность решения с помощью этого стенда таких **основных задач**:

– обеспечение стендовой системой питания ПД необходимых объемов сжатого воздуха в рабочем диапазоне по нагрузочным и скоростным характеристикам;

– выполнение индицирования цилиндров и исследование рабочего процесса ПД при его работе по скоростным характеристикам в необходимых диапазонах изменения давлений сжатого воздуха на входе $p_s = 0,3-2,0$ МПа и

частот вращения коленчатого вала $n = 200\text{--}4000 \text{ мин}^{-1}$;

– исследование влияния на индикаторные и эффективные показатели работы ПД температуры подаваемого сжатого воздуха путем его подогрева на входе в диапазоне $t_s = 20\text{--}120 \text{ }^\circ\text{C}$.

Конструктивные особенности моторного стенда

Общий вид стенда для экспериментальной доводки рабочего процесса ПД представлен на рис. 1.

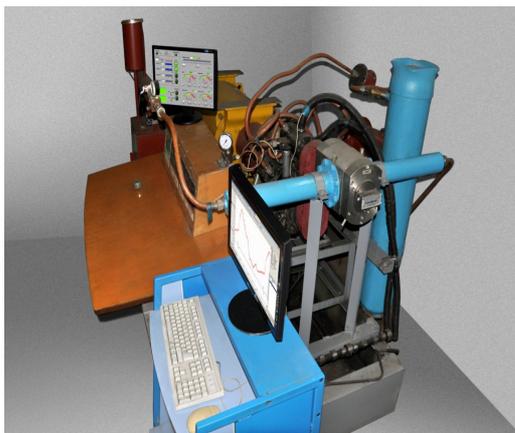


Рис. 1. Общий вид стенда для исследования ПД

Системы и комплекс контрольно-измерительной аппаратуры позволяли поддерживать заданные режимные параметры, контролировать тепловое состояние ПД, измерять с необходимой точностью параметры рабочего процесса и все его основные показатели работы.

Измерительная аппаратура стенда разрешает осуществлять:

- измерение параметров режима работы установки для подогрева воздуха на входе;
- измерение параметров рабочих процессов ПД с помощью специальных датчиков;
- обработку экспериментальных данных с помощью персонального компьютера с использованием специального программного обеспечения;
- визуальную репрезентацию полученной информации, а также результатов ее обработки и анализа в графическом виде на экране ПК, вывод на печать результатов измерения и обработки информации в табличном и графическом виде на принтере;
- сохранение и копирование экспериментальных данных и результатов обработки, их накопление для дальнейшего анализа.

На рис. 2 приведена функционально-структурная схема экспериментальной установки. Ниже приводится краткое описание основных систем, обеспечивающих работу стенда.

Стенд создавался с соблюдением требований, в соответствии со стандартами [2, 3] обеспечивающих выполнение следующих работ:

а) проведение испытаний ПД на различных скоростных и нагрузочных режимах в эксплуатационных диапазонах заданных режимных параметров;

б) определение эффективных параметров работы ПД:

- эффективной мощности N_e , кВт;
- эффективного крутящего момента M_e , Н·м;
- частоты вращения коленчатого вала n , мин^{-1} ;
- часового расхода сжатого воздуха G_r , кг/ч;
- давления и температуры сжатого воздуха на входе в ПД p_s , МПа, и T_s , $^\circ\text{C}$;
- давления и температуры отработанного воздуха на выходе из ПД, в, МПа, и T_b , $^\circ\text{C}$.

в) выполнение индицирования цилиндра с целью определения индикаторных параметров рабочих процессов ПД;

г) выполнение осциллографирования давления в воздушных каналах системы впуска-выпуска ПД (при необходимости). Для определения крутящего момента, который развивается ПД на экспериментальном стенде, используется электрическая балансирующая машина постоянного тока МПБ 32,7/28 (рис. 2). Мощность электрической балансирующей машины $N_e = 25,1 \text{ кВт}$; частота вращения $n = 4000 \text{ мин}^{-1}$; сила тока $I = 109 \text{ А}$; напряжение $V = 230 \text{ В}$; сопротивление – $R = 2,11 \text{ Ом}$; регулирование электрической нагрузки – изменением независимого возбуждения.

Для определения силы нагрузки P_n на стенде используется весовой терминал КОДА-2 (поз. 3), измеряющий аналоговый сигнал чувствительного элемента тензодатчиков и выводящий результаты измерений на дисплей 6. Терминал обеспечивает непосредственное подключение тензорезисторных мостовых датчиков. Сопротивление нагрузки терминала не менее 30 Ом. Терминал имеет индикатор, клавиатуру управления и интерфейс для связи с компьютером и передачи информации, с использованием протоколов. Калибрование терминала выполняется без внешних регулировочных элементов с сохранением кодов настроек в запоминающем устройстве.

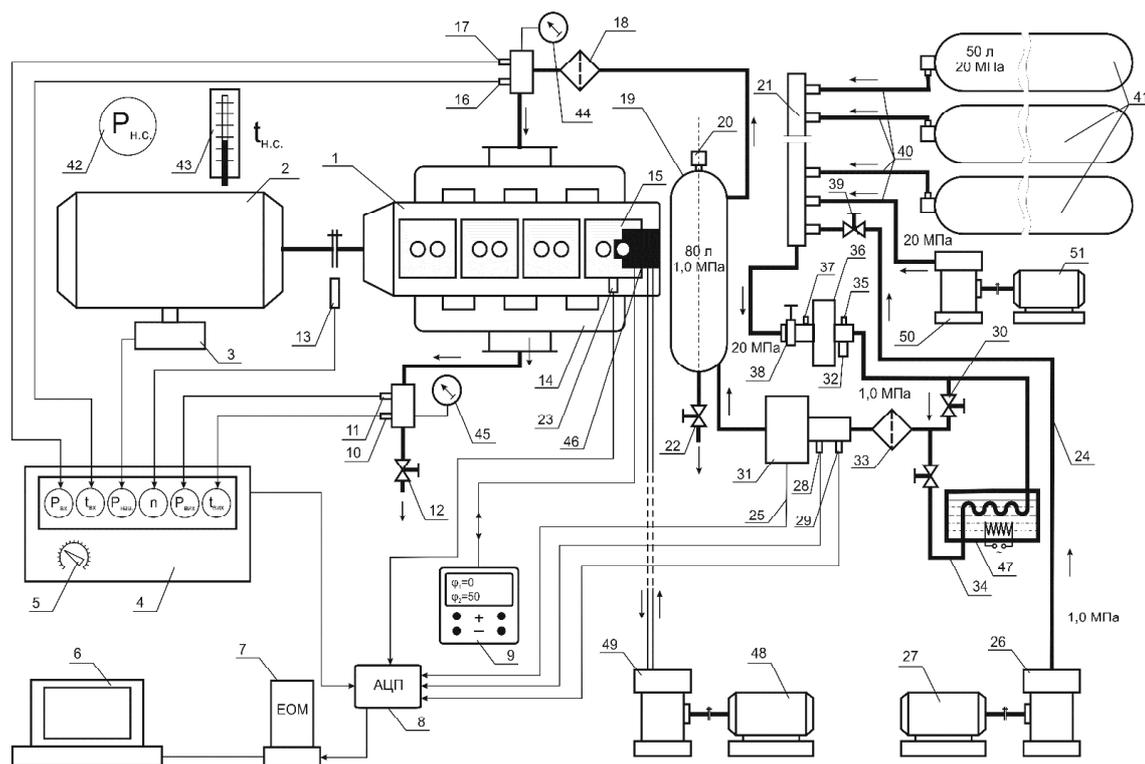


Рис. 2. Схема экспериментального стенда: 1 – пневмодвигатель; 2 – электрическая балансирующая машина; 3 – весовой терминал; 4 – пульт управления; 5 – пульт управления полезной нагрузкой; 6 – дисплей; 7 – электронно-вычислительная машина; 8 – аналогово-цифровой преобразователь (АЦП); 9 – блок управления электрогидравлическим клапаном; 10 – датчик температуры; 11 – датчик давления; 12 – регулировочный кран; 13 – индуктивный датчик частоты вращения; 14 – выпускной коллектор пневмодвигателя; 15 – головка цилиндра; 16 – датчик температуры; 17 – датчик давления; 18 – фильтр; 19 – воздушный ресивер низкого давления; 20 – предохранительный клапан; 21 – рампа воздушная высокого давления; 22 – дренажный вентиль; 23 – датчик индирования цилиндра; 24 – стальная труба высокого давления; 25 – информационный канал расхода сжатого воздуха; 26 – четырехступенчатый поршневой компрессор для накачивания баллонов высокого давления; 27 – электродвигатель привода компрессора; 28 – датчик давления; 29 – датчик температуры; 30 – кран регулирования давления воздуха перед ПД; 31 – расходомер; 32 – предохранительный клапан; 33 – фильтр; 34 – кран регулирования давления и температуры воздуха перед ПД; 35 – пружинный манометр; 36 – газовый редуктор рамповый РКЗ-500-2; 37 – пружинный манометр; 38, 39 – запорные краны; 40 – стальные трубы высокого давления; 41 – баллоны для воздуха высокого давления; 42 – барометр М67; 43 – ртутный термометр; 44, 45 – пружинные манометры; 46 – электрогидравлический привод выпускного клапана; 47 – электрический нагреватель сжатого воздуха; 48 – электромотор питающей гидравлической станции; 49 – питающая гидравлическая станция; 50 – питающий компрессор; 51 – электродвигатель питающего компрессора

Стендовая система питания ПД сжатым воздухом от баллонов (рис. 2) состоит из блока баллонов высокого давления (до 20 МПа) 41, стальных трубок высокого давления 40, рампы с трубопроводом 21, запорного крана 38, газового рампового редуктора РКЗ-500-2 36, крана 34 для тонкого регулирования давления p_s , воздушного фильтра 33, расходомера G160 GMS DY-80 31, воздушного ресивера низкого давления 19, который служит для сглаживания пульсаций давления

перед расходомером, электрического нагревателя 46, воздушного фильтра 18 и соединительных трубопроводов. Для заправки баллонов 41 сжатым воздухом до 20 МПа на стенде используется компрессорная установка 26, 27 с четырехступенчатым поршневым компрессором. Из этой установки воздух через кран 39 нагнетается непосредственно в рампу 21, соединенную с вентилями баллонов.

Для измерения частоты вращения коленчатого вала на стенде используются счетчик импульсов СИ8 и индуктивный датчик импульсов 13. Для индицирования цилиндра используется датчик Honeywell MLH 250BSB 01A-46 23 с выводом информационных сигналов через аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) 8 и ЭВМ 7 на дисплей 6. Датчик индицирования установлен в свечном отверстии 1-го цилиндра ПД. В ряде точек воздушного тракта выполняются измерения давления с помощью механических пружинных манометров: на входе 44 и на выходе 45 из ПД, на входе 37 и выходе 35 из газового редуктора.

Температура сжатого воздуха на входе 16 и на выходе 10 из ПД измеряется термопарами ХК (хромель-копель), и результаты поступают на измеритель-регулятор микропроцессорный одноканальный ТРМ-1-Н.У.Г. ТУ 4211-016-46526536-2005 со светодиодным цифровым индикатором на пульте управления, а также на ЭВМ. Данные измерения давления 28 и температуры 29 сжатого воздуха перед расходомером и информационный сигнал величины расхода воздуха через расходомер поступают через АЦП в ЭВМ и выводятся на дисплей.

Измерение расхода воздуха осуществляется расходомером с определением времени выработки установленного объема воздуха. Далее по трубопроводу высокого давления воздух подается в ПД.

В процессе исследования измерялись следующие величины:

- температура смазочного масла в поддоне двигателя – термопарами ТХК-(L); ГОСТ 6616-94 с регистрационным прибором КВП1-512I минус 40 – плюс 300 °С, классом точности 0,5 и ценой деления шкалы 2 °С;

- температура на входе в газовый счетчик – термопарой ТХК-(L); ГОСТ 6616-94 и регистрационным прибором КВШ-503, минус 40 – плюс 300 °С, классом точности 0,5 и ценой деления шкалы 1 °С;

- температура воздуха после газового редуктора РКЗ-500-2 – термопарой ТХК-(L); ГОСТ 6616-94 и регистрационным прибором КВП1-503, минус 40 – плюс 300 °С, классом точности 0,5 и ценой деления шкалы 1 °С;

- температура воздуха перед ресивером – термопарой ТХК-(L); ГОСТ 6616-94, регистрационным прибором КВП1-512I, минус 40 – плюс 300 °С, классом точности 0,5 и ценой деления шкалы 1 °С;

- температура воздуха на входе в цилиндр – термопарой ХА минус 40 – плюс 375 °С, ГОСТ 6616-94, установленной в гильзе цилиндра;

- температура воздуха на выходе из двигателя – термопарой ХА минус 40 – плюс 375 °С;

- давление в масляной магистрали – манометром ОБМ-100 с ценой деления 0,02 МПа и за ее пределами измерения 0–0,1 МПа;

- давление перед газовым счетчиком – образцовым манометром;

- давление на впуске – образцовым манометром;

- давление на выпуске – образцовым манометром;

- давление воздуха после газового редуктора РКЗ-500-2 – образцовым манометром;

- давление перед ресивером – образцовым манометром;

- мощность ПД – по величине крутящего момента на плече балансирной машины, соединенной с ВКМ;

- частота вращения коленчатого вала – тахометром ТЕ-Д 15 с индуктивным датчиком;

- давление в цилиндре – по результатам обработки снятых датчиком высокого давления индикаторных диаграмм;

- температура окружающей среды – термометром ртутным;

- давление окружающей среды – барометром М65.

Для поддержки заданного уровня температуры сжатого воздуха перед расходомером 31 используется электрический кожухотрубный водо-воздушный нагреватель 9. После расходомера используется для регулирования температуры воздуха, поступающего на вход 6 ПД, воздушно-воздушный нагреватель 46, представленный на рис. 2.

Выводы

1. Разработанный моторный стенд позволяет проводить экспериментальные исследования пневмодвигателей комбинированной энергетической установки автомобиля.

2. Моторный стенд позволяет выполнить следующие работы:

- обеспечить стендовую систему питания ПД необходимым объемом сжатого воздуха в рабочем диапазоне изменения нагрузок и скоростных режимов;

- выполнить индицирование цилиндров и исследование рабочего процесса ПД при его

работе по скоростным характеристикам в необходимых диапазоне изменения давлений сжатого воздуха на входе $p_s = 0,3-2,0$ МПа и частотах вращения коленчатого вала $n = 200-4000$ мин⁻¹;

– исследовать влияние на индикаторные и эффективные показатели работы ПД температуры подаваемого сжатого воздуха путем его подогрева на входе в диапазоне $t_s = 20-120$ °С.

Разработанный моторный стенд предназначен для проведения научно-исследовательских работ в учебных, научно-производственных предприятиях и исследовательских лабораториях заводов.

Литература

1. Абрамчук Ф.И. Стенд для випробування і дослідження пневмодвигунів / Ф.И. Абрамчук, О.И. Воронков, А.И. Харченко, С.С. Жилин, І.М. Нікітченко, В.С. Червяк // Двигатели внутреннего сгорания. – 2011. – №2. – С. 110–117.
2. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний: ГОСТ 14846-81 (СТ, СЭВ 765-77). – [Действительные от 24.06.1981]. – М.: Государственный стандарт союза ССР, 1984. – 54 с. (Государственный комитет СССР по стандартам).
3. Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний. ГОСТ 18509-88. Государственный стандарт союза ССР, 1988. – 54 с. – (Государственный комитет СССР по стандартам). Издательство стандартов
4. Испытания автомобилей / Цимбакин В.Б., Кравец В.Н., Кудрявцев С.М. и др. – М.: Машиностроение, 1978. – 200 с.
5. Испытания двигателей внутреннего сгорания / Стефановский Б.С., Скобцева К.А., Корси Е.К. и др. – М.: Машиностроение, 1974. – 108 с.
6. Райков И.Я. Испытания двигателей внутреннего сгорания / И.Я. Райков. – М.: Высшая школа, 1975. – 320 с.
7. Воронков А.И. Рабочий процесс автомобильного пневмодвигателя: монография / А.И. Воронков, И.Н. Никитченко. – Харьков : ХНАДУ, 2015. – 200 с.
8. Прохоренко А.А. Выбор рационального количества рабочих циклов для усреднения индикаторной диаграммы / А.А. Прохоренко, Д.В. Мешков // Двигатели внутреннего сгорания. – 2006. – №2. – С. 95–96.
9. Еськов, А.В. Многофункциональное устройство управления регистрацией изображений быстротекущих процессов / А.В. Еськов, А.Б. Добряк // Приборы и техника эксперимента. 2007. – №3. – С. 160–161.
10. Еськов А.В. Приборы и методы оптического контроля параметров распыления топлива дельными форсунками: монография / А.В. Еськов; Алт. гос. тех. ун-т им. И.И. Ползунова. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2007. – 92 с.
11. Кузьмин Н.А. Повышение точности моделей теплонапряженности орбренных цилиндров двигателей внутреннего сгорания / Н.А. Кузьмин, Г.В. Пачурин // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 5-5. – С. 959–963.

References

1. Abramchuk F.I. Stend dlya viprobuvannya I doslidzhennya pnevmodviguniv / F.I. Abramchuk, O.I. Voronkov, A.I. Harchenko, S.S. ZhilIn, I.M. NikItchenko, V.S. Chervyak // Dvigateli vnutrennego sgoraniya. – 2011. – #2. – S. 110–117.
2. Dvigateli avtomobil'ny'e. Metody' stendovih ispy'taniy: GOST 14846-81 (ST, SE`V 765-77). – [Deystvitel'ny'e ot 24.06.1981]. – M.: Gosudarstvenny'y standart soyuza SSR, 1984. – 54 s. (Gosudarstvenny'y komitet SSSR po standartam).
3. Dizeli traktorny'e i kombaynovy'e. Metody' stendovy'h ispy'taniy. GOST 18509-88. Gosudarstvenny'y standart soyuza SSR, 1988. – 54 s. – (Gosudarstvenny'y komitet SSSR po standartam). Izdatel'stvo standartov
4. Ispy'taniya avtomobiley / Cimbalin V.B., Kravec V.N., Kudryavcev S.M. i dr. – M. : Mashinostroenie, 1978. – 200 s.
5. Ispy'taniya dvigateley vnutrennego sgoraniya / Stefanovskiy B.S., Skobceva K.A., Korsi E.K. i dr. – M.: Mashinostroenie, 1974. – 108 s.
6. Raykov I.YA. Ispy'taniya dvigateley vnutrennego sgoraniya / I.YA. Raykov. – M.: Vy'sshaya shkola, 1975. – 320 s.
7. Voronkov A.I. Rabochiy process avtomobil'nogo pnevmodvigatelya: monografiya / A.I. Voronkov, I.N. Nikitchenko. – Har'kov : HNADU, 2015. – 200 s.
8. Prohorenko A.A. Vy'bor racional'nogo kolichestva rabochih ciklov dlya usredneniya indikatornoy diagrammy' / A.A. Prohorenko, D.V. Meshkov // Dvigateli vnutrennego sgoraniya. – 2006. – №2. – S. 95–96.
9. Es'kov, A.B. Mnogofunkcional'noe ustroystvo upravleniya registraciey izobrajeniy by'strotekayusch'ih processov Tekst. / A.B. Es'kov, A.B. Dobryak // Pribory' i tehnika e'ksperimenta. 2007. – №3. – S. 160–161.
10. Es'kov A.B. Pribory' i metody' opticheskogo kontrolya parametrov raspy'leniya topliva dizel'ny'mi forsunkami Tekst.: monografiya / A.B. Es'kov; Alt. gos. teh. un-t im. I.I. Polzunova. Barnaul: Izd-vo AltGTU, 2007.92 s.
11. Kuz'min N.A., Pachurin G.V. Povy'shenie tochnosti modeley teplonapryajennosti orbrenny'h cilindrov dvigateley vnutrennego sgoraniya // Fundamental'ny'e issledovaniya. – 2014. – № 5-5. – S. 959–963;

Тесленко Эдуард Викторович, аспирант,
 +(380) 678538385, teslenkoev21@gmail.com.
 Кафедра двигателей внутреннего сгорания
 Харьковский автомобильно-дорожный универси-
 тет, 61002, г.
 Харьков, Украина, ул. Ярослава Мудрого, 25

EXPERIMENTAL STAND TO INVESTIGATE CAR PNEUMATIC ENGINES WITH VALVE AIR-DISTRIBUTOR

Teslenko E.V., Post-Graduate, Kharkiv National Automobile and Highway University

Abstract. Problem. The author (in co-authorship) modernized the motor stand for the study of working processes of pneumatic motors (PM), designed for the use in road transport as a part of a combined power plant. The measuring equipment of the stand allows: measurement of PM parameters without heating and with heating of compressed air at the inlet; measurement of indicator diagrams of PM with the help of special sensors; processing of experimental data using a personal computer and special software; determination of the load force R_n on the stand; the KODA-2 weighing terminal is used to measure the analog signal of the sensitive element of the load cells with the output of measurement results on the display. The terminal provides direct connection of strain gauge bridge sensors without additional connection. Load resistance of the terminal is at least 30 ohms. The motor stand allows performing the following: to provide a bench PD power supply system with the necessary volume of compressed air in the operating range of loads and speeds; to perform indexing of cylinders and study of the working process of PM during its operation according to speed characteristics in the required ranges of pressure variations of compressed air at the inlet $p_s = 0.3-2.0$ MPa and crankshaft rotational speeds $n = 200-4000$ min⁻¹; to investigate the impact on the indicator and effective performance indicators of PM of the temperature of the supplied compressed air with the heated inlet in the range. The developed motor stand is intended for scientific research in educational, research and production enterprises and research laboratories of the factories.

Key words: motor stand, pneumatic engine, working process, combined power installation.

Експериментальний стенд для дослідження автомобільних пневматичних двигунів із клапанним повітродіподілом

Тесленко Е., ХНАДУ

Анотація. Автором (у співавторстві) модернізовано моторний стенд із дослідження робочих процесів пневмодвигунів (ПД), розрахованих для застосування на автомобільному транспорті у складі комбінованої енергетичної установки. Вимірювальна апаратура стенда дозволяє здійснювати: вимірювання параметрів ПД без підігріву і з підігрівом стисненого повітря на вході; вимір індикаторних діаграм ПД за допомогою спеціальних датчиків; обробку експериментальних даних за допомогою персонального комп'ютера та спеціального програмного забезпечення; Для визначення сили навантаження R_n на стенді використовується ваговий термінал КОДА-2, призначений для вимірювання аналогового сигналу чутливого елемента тензодатчиків із виведенням результатів вимірювань на дисплей. Термінал забезпечує безпосереднє підключення тензорезисторних мостових датчиків без додаткового з'єднання. Опір навантаження терміналу не менше 30 Ом. Моторний стенд дозволяє виконати наступні роботи:

- забезпечити стендову систему живлення ПД необхідним обсягом стисненого повітря в робочому діапазоні зміни навантажень і швидкісних режимів;

- виконати індицирування циліндрів і дослідження робочого процесу ПД при його роботі за швидкісними характеристиками в необхідних діапазонах зміни тисків стиснутого повітря на вході $p_s = 0,3-2,0$ МПа і частот обертання колінчастого вала $n = 200-4000$ хв⁻¹;

- дослідити вплив на індикаторні та ефективні показники роботи ПД температури подаваного стисненого повітря з підігрівом на вході в діапазоні.

Розроблений моторний стенд призначений для проведення науково-дослідницьких робіт у навчальних, науково-виробничих підприємствах і дослідницьких лабораторій заводів.

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