

ВЛИЯНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ВПУСКНЫХ И ВЫХЛОПНЫХ СИСТЕМ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ПРОЦЕССЫ ГАЗООБМЕНА

Л.В. Плотников, Б.П. Жилкин, Ю.М. Бродов, Н.И. Григорьев

В работе представлены результаты экспериментального исследования влияния аэродинамического сопротивления впускных и выхлопных систем поршневых двигателей на процессы газообмена. Опыты проводились на натурных моделях одноцилиндрового ДВС. Описаны установки и методика проведения экспериментов. Представлены зависимости изменения мгновенной скорости и давления потока в газоздушных трактах двигателя от угла поворота коленчатого вала. Данные получены при различных коэффициентах сопротивления впускных и выпускных систем и разных частотах вращения коленчатого вала. На основе полученных данных были сделаны выводы о динамических особенностях процессов газообмена в двигателе при различных условиях. Показано, что применение глушителя шума сглаживает пульсации потока и изменяет расходные характеристики.

Ключевые слова: поршневой двигатель, процессы газообмена, динамика процесса, пульсации скорости и давления потока, глушитель шума.

Введение

К впускным и выпускным системам поршневых двигателей внутреннего сгорания предъявляется ряд требований [1–4], среди которых основными являются максимальное снижение аэродинамического шума и минимальное аэродинамическое сопротивление. Оба этих показателя определяются во взаимосвязи конструкции фильтрующего элемента, глушителей впуска и выпуска, каталитических нейтрализаторов, наличия наддува (компрессора и/или турбокомпрессора), а также конфигурации впускных и выпускных трубопроводов и характером течения в них. При этом практически отсутствуют данные о влиянии дополнительных элементов впускных и выпускных систем (фильтров, глушителей, турбокомпрессора) на газодинамику потока в них.

В настоящей статье представлены результаты исследования влияния аэродинамического сопротивления впускных и выхлопных систем на процессы газообмена применительно к поршневому двигателю размерности 8,2/7,1.

Экспериментальные установки и система сбора данных

Исследования влияния аэродинамического сопротивления газоздушных систем на процессы газообмена в поршневых ДВС проводились на натурной модели одноцилиндрового двигателя размерности 8,2/7,1, приводимой во вращение асинхронным двигателем, частота вращения коленчатого вала которого регулировалась в диапазоне $n = 600\text{--}3000 \text{ мин}^{-1}$ с точностью $\pm 0,1 \%$. Более подробно экспериментальная установка описана в [5, 6].

На рис. 1 и 2 показаны конфигурации и геометрические размеры впускного и выпускного тракта экспериментальной установки, а также места установки датчиков для измерения мгновенных

значений средней скорости и давления потока воздуха.

Для измерений мгновенных значений давления в потоке (статического) в канале p_x использовался датчик давления S-10 фирмы WIKA, быстродействие которого – менее 1 мс. Максимальная относительная среднеквадратичная погрешность измерения давления составляла $\pm 0,25 \%$.

Для определения мгновенной средней по сечению канала скорости потока воздуха w_x применялись термоанемометры постоянной температуры оригинальной конструкции [7], чувствительным элементом которых являлась нихромовая нить диаметром 5 мкм и длиной 5 мм. Максимальная относительная среднеквадратичная погрешность измерения скорости w_x составляла $\pm 2,9 \%$.

Измерение частоты вращения коленчатого вала осуществлялось с помощью тахометрического счетчика, состоящего из зубчатого диска, закрепленного на коленчатом вале, и индуктивного датчика. Датчик формировал импульс напряжения с частотой, пропорциональной скорости вращения вала. По этим импульсам регистрировалась частота вращения, определялось положение коленчатого вала (угол φ) и момент прохождения поршнем ВМТ и НМТ.

Сигналы со всех датчиков поступали в аналого-цифровой преобразователь и передавались в персональный компьютер для дальнейшей обработки.

Перед проведением экспериментов проводилась статическая и динамическая тарировка измерительной системы в целом, которая показала быстроедействие, необходимое для исследования динамики газодинамических процессов во впускных и выхлопных системах поршневых двигателей. Суммарная среднеквадратичная погрешность экспериментов по влиянию аэродинамического сопротивления газоздушных систем ДВС на процессы газообмена составляла $\pm 3,4 \%$.

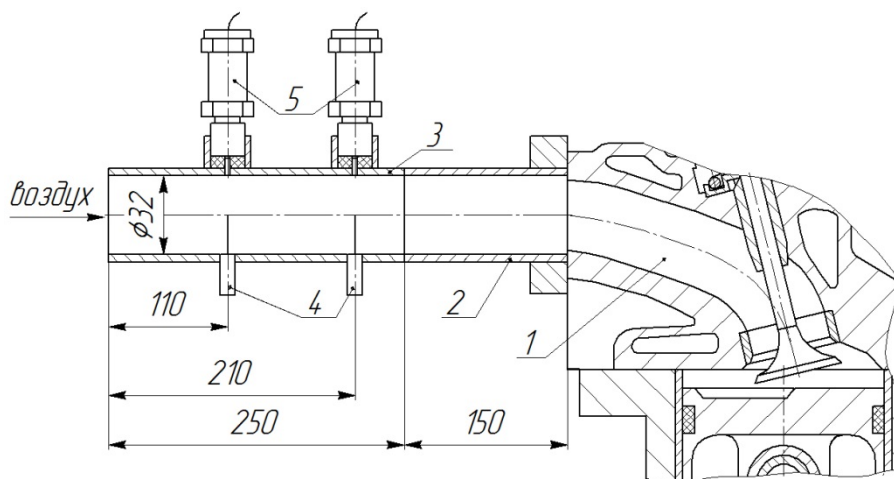


Рис. 1. Конфигурация и геометрические размеры впускного тракта экспериментальной установки: 1 – головка цилиндров; 2 – впускная труба; 3 – измерительная труба; 4 – датчики термоанемометра для измерения скорости потока воздуха; 5 – датчики давления

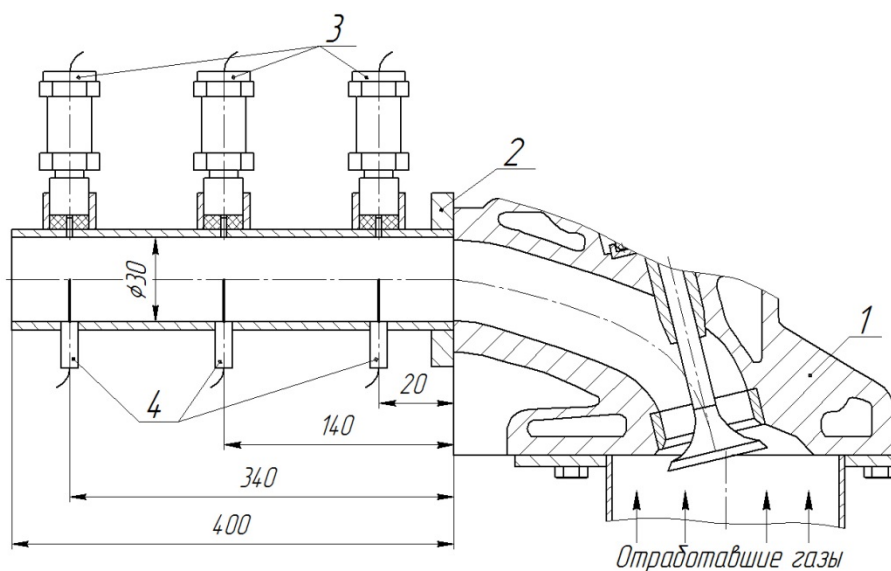


Рис. 2. Конфигурация и геометрические размеры выпускного тракта экспериментальной установки: 1 – головка цилиндров; 2 – рабочий участок – выпускная труба; 3 – датчики давления; 4 – датчики термоанемометра

Влияние дополнительных элементов на газодинамику процессов впуска и выпуска изучалось при различных коэффициентах сопротивления систем. Сопротивления создавались с помощью различных фильтров впуска и выпуска. Так, в качестве одного из них использовался стандартный воздушный автомобильный фильтр с коэффициентом сопротивления 7,5. В качестве другого фильтрующего элемента был выбран тканевый фильтр с коэффициентом сопротивления 32. Коэффициент сопротивления определялся экспериментально посредством статической продувки в лабораторных условиях. Также проводились исследования без фильтров.

Влияние аэродинамического сопротивления на процесс впуска

На рис. 3 и 4 показаны зависимости скорости потока воздуха w_x и давления p_x во впускном канале от угла поворота коленчатого вала φ при разных его частотах вращения и при использовании различных фильтров впуска.

Установлено, что в обоих случаях (с глушителем и без) пульсации давления и скорости потока воздуха наиболее выражены при высоких частотах вращения коленчатого вала. При этом во впускном канале с глушителем шума значения максимальной скорости потока воздуха, как и следовало ожидать, меньше, чем в канале без него. Наиболее

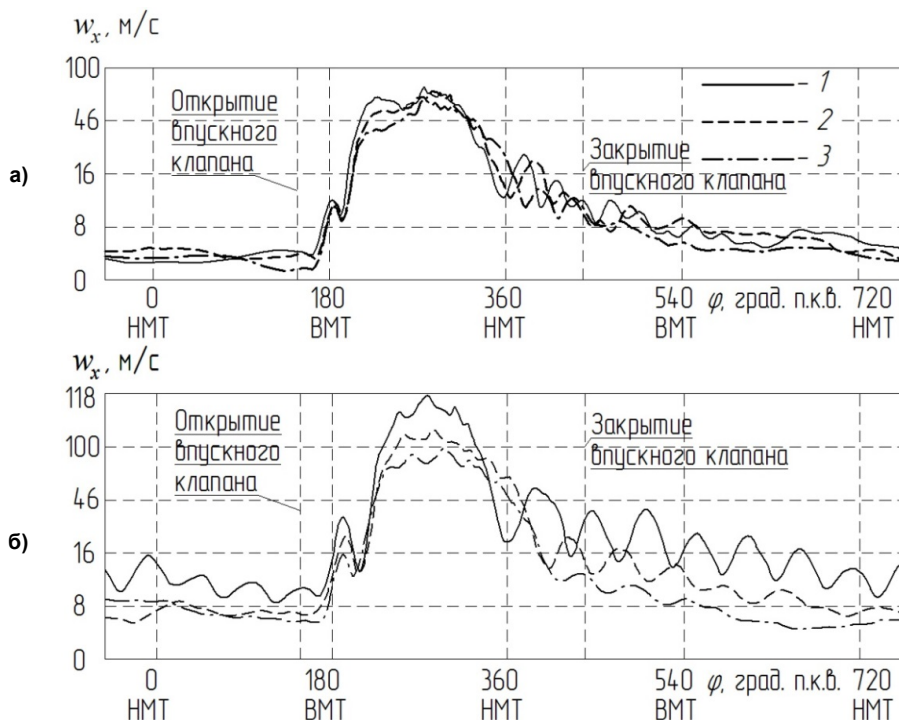


Рис. 3. Зависимость скорости воздуха w_x во впускном канале от угла поворота коленчатого вала φ при разных частотах вращения коленчатого вала и разных фильтрующих элементах: а – $n=1500 \text{ мин}^{-1}$; б – 3000 мин^{-1} . 1 – без фильтра; 2 – стандартный воздушный фильтр; 3 – тканевый фильтр

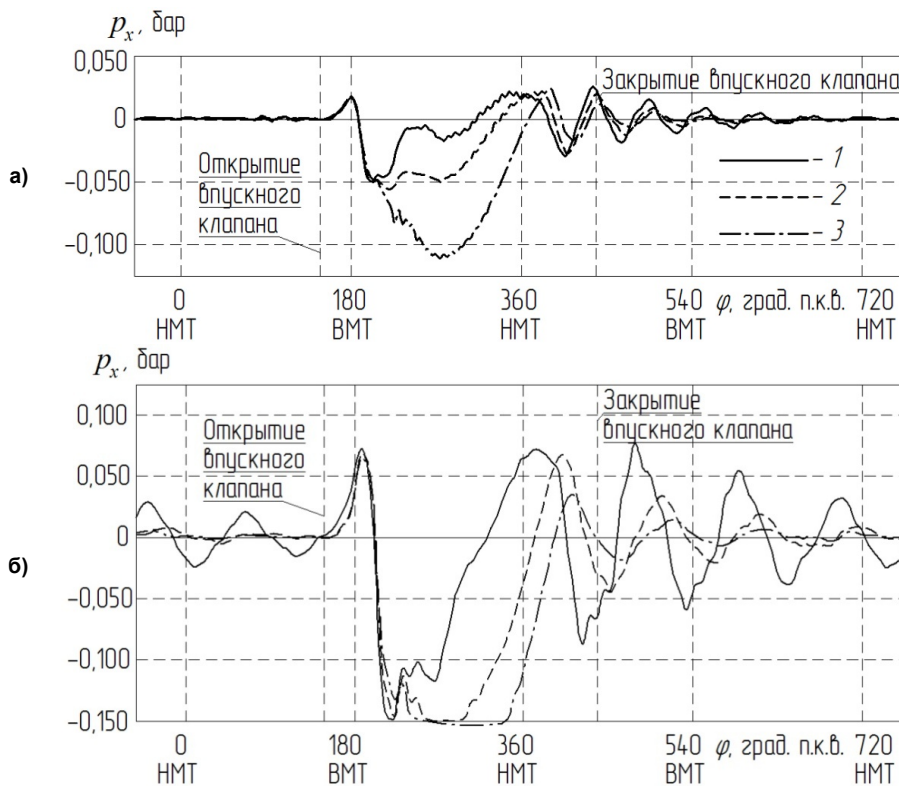


Рис. 4. Зависимость давления p_x во впускном канале от угла поворота коленчатого вала φ при разных частотах вращения коленчатого вала и разных фильтрующих элементах: а – $n=1500 \text{ мин}^{-1}$; б – 3000 мин^{-1} . 1 – без фильтра; 2 – стандартный воздушный фильтр; 3 – тканевый фильтр

ярко это проявилось при высоких частотах вращения коленчатого вала.

После закрытия впускного клапана давление и скорость потока воздуха в канале при всех условиях не становятся равными нулю, а наблюдаются некоторые их флуктуации (см. рис. 3 и 4), что характерно и для процесса выпуска (см. ниже). При этом установка глушителя шума выпуска приводит к уменьшению пульсаций давления и скорости потока воздуха при всех условиях как в течение процесса впуска, так и после закрытия впускного клапана.

Влияние аэродинамического сопротивления на процесс выпуска

На рис. 5 и 6 показаны зависимости скорости потока воздуха w_x и давления p_x в выпускном канале от угла поворота коленчатого вала φ при разных его частотах вращения и при использовании различных фильтров выпуска.

Исследования проводились для различных частот вращения коленчатого вала (от 600 до 3000 мин^{-1}) при разных избыточных давлениях на выпуске p_b (от 0,5 до 2,0 бар) без глушителя шума и при его наличии.

Установлено, что в обоих случаях (с глушителем и без) пульсации скорости потока воздуха наиболее ярко проявились при низких частотах вращения коленчатого вала. При этом в выпускном канале с глушителем шума значения максимальной скорости потока воздуха остаются при-

мерно такими же, как и без него. После закрытия выпускного клапана скорость потока воздуха в канале при всех условиях не становится равной нулю, а наблюдаются некоторые флуктуации скорости (см. рис. 5), что характерно и для процесса впуска (см. выше). При этом установка глушителя шума на выпуске приводит к существенному увеличению пульсаций скорости потока воздуха при всех условиях (особенно при $p_b = 2,0$ бар) как в течение процесса выпуска, так и после закрытия выпускного клапана.

Следует отметить противоположное влияние аэродинамического сопротивления на характеристики процесса впуска в ДВС, где при использовании воздушного фильтра пульсационные эффекты в процессе впуска и после закрытия впускного клапана присутствовали, но затухали явно быстрее, чем без него. При этом наличие фильтра в системе впуска приводило к снижению максимальной скорости потока воздуха и ослаблению динамики процесса, что хорошо согласуется с ранее полученными результатами в работе [8].

Увеличение аэродинамического сопротивления выхлопной системы приводит к некоторому увеличению максимальных давлений в процессе выпуска, а также смещению пиков за ВМТ. При этом можно отметить, что установка глушителя шума выпуска приводит к уменьшению пульсаций давления потока воздуха при всех условиях как в течение процесса выпуска, так и после закрытия выпускного клапана.

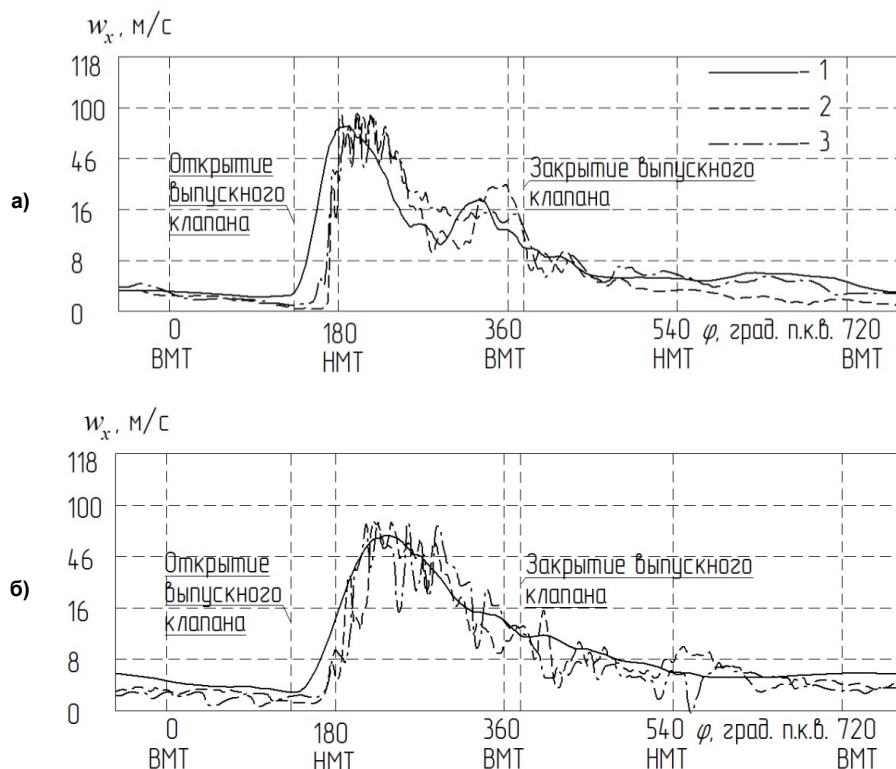


Рис. 5. Зависимость скорости воздуха w_x в выпускном канале от угла поворота коленчатого вала φ при разных частотах вращения коленчатого вала и разных фильтрующих элементах: а – $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$; б – 3000 мин^{-1} . 1 – без фильтра; 2 – стандартный воздушный фильтр; 3 – тканевый фильтр

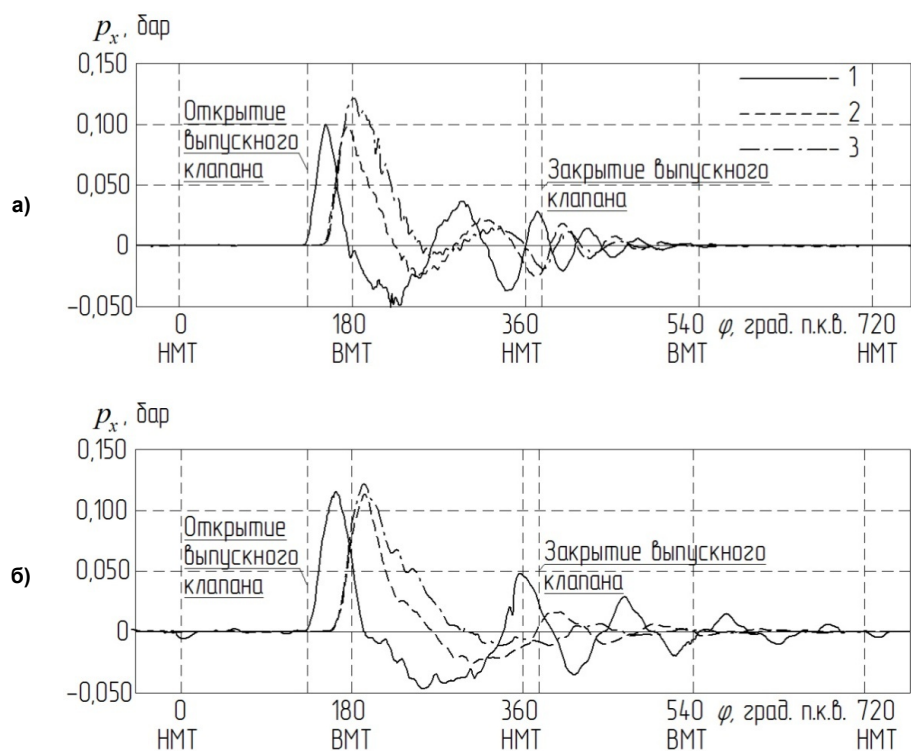


Рис. 6. Зависимость давления p_x в выпускном канале от угла поворота коленчатого вала φ при разных частотах вращения коленчатого вала и разных фильтрующих элементах: а – $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$; б – 3000 мин^{-1} . 1 – без фильтра; 2 – стандартный воздушный фильтр; 3 – тканевый фильтр

На основе обработки зависимостей изменения скорости потока за отдельный такт было рассчитано относительное изменение объемного расхода воздуха Q через выпускной канал при размещении глушителя. Установлено, что при низких избыточных давлениях на выпуске (0,1 МПа) расход Q в выпускной системе с глушителем меньше, чем в системе без него. При этом если на частоте вращения коленчатого вала 600 мин^{-1} эта разница составляла примерно 1,5 % (что лежит в пределах погрешности), то при $n = 3000 \text{ мин}^{-1}$ эта разница достигала 23 %. Показано, что для высокого избыточного давления, равного 0,2 МПа, наблюдалась противоположная тенденция. Объемный расход воздуха через выпускной канал с глушителем был больше, чем в системе без него. При этом при низких частотах вращения коленчатого вала это превышение составляло 20 %, а при $n = 3000 \text{ мин}^{-1}$ – лишь 5 %. По мнению авторов, подобный эффект можно объяснить некоторым сглаживанием пульсаций скорости потока воздуха в выпускной системе при наличии глушителя шума.

Заключение

Проведенное исследование показало, что на процесс впуска в поршневом двигателе внутреннего сгорания оказывает существенное влияние аэродинамическое сопротивление впускного тракта:

- возрастание сопротивления фильтрующего элемента сглаживает динамику процесса наполнения, но при этом снижает скорость потока воздуха, что соответственно уменьшает коэффициент наполнения;

- влияние фильтра усиливается с ростом частоты вращения коленчатого вала;

- было установлено пороговое значение коэффициента сопротивления фильтра (примерно 50–55), после которого его величина не оказывает влияния на расход.

При этом было показано, что аэродинамическое сопротивление выхлопной системы также значительно влияет на газодинамические и расходные характеристики процесса выпуска:

- увеличение гидравлического сопротивления выпускной системы в поршневом ДВС приводит к усилению пульсаций скорости потока воздуха в выпускном канале;

- при низких избыточных давлениях на выпуске в системе с глушителем шума наблюдается уменьшение объемного расхода через выпускной канал, тогда как при высоких p_b – наоборот, происходит его увеличение по сравнению с выпускной системой без глушителя.

Таким образом, полученные результаты могут быть использованы в инженерной практике с целью оптимального выбора характеристик глушителей шума впуска и выпуска, что может оказать положи-

тельное влияние на наполнение цилиндра свежим зарядом (коэффициент наполнения) и качество очистки цилиндра двигателя от отработавших газов (коэффициент остаточных газов) на определенных скоростных режимах работы поршневых ДВС.

Литература

1. Драганов, Б.Х. Конструирование впускных и выпускных каналов двигателей внутреннего сгорания / Б.Х. Драганов, М.Г. Круглов, В.С. Обухова. – Киев: Вища шк. Головное изд-во, 1987. – 175 с.

2. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн. 1: Теория рабочих процессов: учеб. / В.Н. Луканин, К.А. Морозов, А.С. Хачиян и др.; под ред. В.Н. Луканина. – М.: Высш. шк., 1995. – 368 с.

3. Шароглазов, Б.А. Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчет процессов: учеб. по курсу «Теория рабочих процессов и моделирование процессов в двигателях внутреннего сгорания» / Б.А. Шароглазов, М.Ф. Фарафонов, В.В. Клементьев; под ред. засл. деят. науки РФ Б.А. Шароглазова. – Челябинск: ЮУрГУ, 2010. – 382 с.

4. Современные подходы к созданию дизелей для легковых автомобилей и малолитражных гру-

зовиков / А.Д. Блинов, П.А. Голубев, Ю.Е. Драган и др.; под ред. В. С. Папонова и А. М. Минеева. – М.: НИИЦ «Инженер», 2000. – 332 с.

5. Экспериментальное исследование газодинамических процессов в системе впуска поршневого ДВС / Б.П. Жилкин, Л.В. Плотников, С.А. Корж, И.Д. Ларионов // Двигателестроение. – 2009. – № 1. – С. 24–27.

6. Об изменении газодинамики процесса выпуска в поршневых ДВС при установке глушителя / Л.В. Плотников, Б.П. Жилкин, А.В. Крестовских, Д.Л. Падаляк // Вестник академии военных наук. – 2011. – № 2. – С. 267–270.

7. Пат. 81338 RU, МПК G01 P5/12. Термоанемометр постоянной температуры / С.Н. Плохов, Л.В. Плотников, Б.П. Жилкин. – № 2008135775/22; заявл. 03.09.2008; опубл. 10.03.2009, Бюл. № 7.

8. Плотников, Л.В. Влияние фильтрующего элемента на газодинамические характеристики поршневого ДВС при различных конфигурациях впускного тракта / Л.В. Плотников, Б.П. Жилкин // Повышение эффективности силовых установок колесных и гусеничных машин: материалы науч.-техн. конф., посвящ. 40-летию кафедры двигателей. – Челябинск: ЧВВАКИУ, 2008. – С. 84–89.

Плотников Леонид Валерьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (УрФУ), г. Екатеринбург, тел.: 89222916450, e-mail: plotnikovlv@mail.ru.

Жилкин Борис Прокопьевич, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры «Теплоэнергетика и теплотехника», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (УрФУ), г. Екатеринбург, тел.: 89122240402, e-mail: tot@ustu.ru.

Бродов Юрий Миронович, д-р техн. наук, директор Уральского энергетического института, зав. кафедрой «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (УрФУ), г. Екатеринбург, тел.: 8(343)3754851, e-mail: turbine66@mail.ru.

Григорьев Никита Игоревич, аспирант кафедры «Теплоэнергетика и теплотехника», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (УрФУ), г. Екатеринбург, тел.: 89655356546, e-mail: gerebola3@mail.ru.

Поступила в редакцию 9 октября 2013 г.

THE INFLUENCE OF AERODYNAMIC RESISTANCE OF INTAKE AND EXHAUST SYSTEMS OF MOTOR VEHICLE ENGINES ON GAS EXCHANGE PROCESSES

L.V. Plotnikov, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russian Federation, plotnikovlv@mail.ru,

B.P. Zhilkin, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russian Federation, tot@ustu.ru,

Y.M. Brodov, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russian Federation, turbine66@mail.ru,

N.I. Grigoriev, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russian Federation, gepebola3@mail.ru

The article deals with the results of experimental study of how gas exchange processes are influenced by aerodynamic resistance of intake and exhaust systems piston engines. The experimental investigations were carried out on full-sized model of one-cylinder combustion engine. The experimental unit and research methods are described. The article presents dependence of change of instantaneous velocity and flow pressure in the gas-air channels of engine on the cranked shaft rotation angle. Data were obtained at different resistance coefficients of intake and exhaust systems and different crankshaft rotation frequencies. Based on the findings, conclusions on the dynamic features of the gas exchange processes in the engine under different conditions were drawn. It is shown that the application of noise suppressor smoothes flow fluctuations and changes air consumption characteristics.

Keywords: piston engine, gas exchange processes, process dynamics, pulsation pressure and velocity of flow, noise suppressor.

References

1. Draganov B.H., Kruglov M.G., Obyhova V.S. *Konstruirovaniye pusknnykh i vypusknnykh kanalov dvigateley vnutrennego sgoraniya* [Construction of the Intake and Exhaust Ducts of Internal Combustion Engines]. Kiev, 1987. 175 p.
2. Lycanin V.N., Morozov K.A., Hachian A.S. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya* [Internal Combustion Engines]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1995. 368 p.
3. Sharoglazov B.A., Farafonov M.F., Klementiev V.V. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya: teoriya, modelirovaniye i raschet protsessov* [Internal Combustion Engines: Theory, Modeling and Calculation Processes]. Chelyabinsk, 2010. 382 p.
4. Blinov A.D., Golybev P.A., Dragan Y.E. *Sovremennyye podkhody k sozdaniyu dizeley dlya legkovykh avtomobiley i malolitrazhnykh gruzovikov* [Modern Approaches to the Creation of Diesel Engines for Passenger Cars and Trucks Midget]. Moscow, 2000. 332 p.
5. Zhilkin B.P., Plotnikov L.V., Korzh S.A., Larionov I.D. [Experimental Study of Dynamic Processes in the Intake System of a Piston Engine]. *Dvigatelistroyeniye*, 2009, no. 1, pp. 24–27. (in Russ.)
6. Plotnikov L.V., Zhilkin B.P., Krestovskikh A.V., Padalak D.L. [Gas Dynamics of Change in the Process of Registration in Reciprocating Internal Combustion Engine When Installing the Muffler]. *Vestnik akademii voennykh nauk* [Bulletin of the Academy of Military Sciences], 2011, no. 2, pp. 267–270. (in Russ.)
7. Plohov S.N., Plotnikov L.V., Zhilkin B.P. *Termoanemometr postoyannoy temperatury* [Constant Temperature Anemometer], Patent RF, no. 81338 RU. 2009.
8. Plotnikov L.V., Zhilkin B.P. [Effect of the Filter Element on the Piston Engine Gas Dynamic Characteristics Under Different Configurations of the Intake Tract]. *Povysheniye effektivnosti silovykh ustanovok kolesnykh i gusenichnykh mashin: materialy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy 40-letiyu kafedry dvigateley* [Improving the Efficiency of Propulsion Wheeled and Tracked Machines: Materials Science and Engineering Conference, Dedicated to the 40th Anniversary of the Department of Motor]. Chelyabinsk, 2008, pp. 84–89.

Received 9 October 2013