УДК 621.436.013

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ЗА ВПУСКНЫМ КЛАПАНОМ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

[1]Жаров А.В., [2]Чаплиц А.Д., [1]Крайнов А.А., [1]Павлов А.А.

[1]ФГБОУ ВПО «Ярославский государственный технический университет», Ярославль, e-mail: pavlovaa@list.ru;

[2]Институт технической механики Национальной академии наук Украины Национального космического агентства Украины, Днепропетровск

Основополагающими процессами в двигателях внутреннего сгорания, оказывающими существенное влияние на последующие процессы смесеобразования и сгорания, являются процессы впуска. Совершенство процесса впуска зависит от особенностей взаимного влияния впускных каналов и клапанных щелей впускных клапанов на гидрогазодинамические характеристики течения рабочего тела двигателя внутреннего сгорания. Создать оптимальную конструкцию каналов и клапанной щели впускной системы двигателя внутреннего сгорания без детального исследования процессов, протекающих в ней, невозможно. В связи с этим целью работы является исследование изменения характеристик течения за клапанной щелью впускного клапана в зависимости от конструкции впускного коллектора для совершенствования всего впускного тракта двигателя внутреннего сгорания. Для исследования применяется метод визуализации потока. В результате применения метода визуализации потока выполнен комплекс исследовательских работ и приведены их результаты по изучению гидрогазодинамических особенностей течения рабочего тела за клапанной щелью впускного клапана: полей скоростей, турбулентных пульсаций потока, распределения пленки и капель жидкой фазы топлива по каналу. В итоге работы усовершенствована впускная система двигателя внутреннего сгорания. Моторные испытания двигателя внутреннего сгорания с усовершенствованной впускной системой показали положительный результат.

Ключевые слова: двигатель, впускной коллектор, клапанная щель, впускной клапан, гидрогазодинамические характеристики

STUDY COURSE FOR INTAKE VALVES OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES USING METHODS VISUALIZATION

[1]Zharov A.V., [2]Chaplits A.D., [1]Kraynov A.A., [1]Pavlov A.A.

[1]FGBOU VPO «The Yaroslavl state technical university», Yaroslavl, e-mail: pavlovaa@list.ru;

[2]Institute of technical mechanics of National academy of Sciences of Ukraine of National space agency of Ukraine, Dnepropetrovsk

The fundamental processes in internal combustion engines that have a significant impact on the subsequent processes of mixture formation and combustion processes are the inlet. Perfection of the process of intake depends on the peculiarities of the mutual influence of the inlet channel and the valve holes inlet valves on гидрогазодинамические characteristics of flow of working body of an internal combustion engine. To create an optimal design of the channels and valve gap intake system of an internal combustion engine without a detailed study of the processes occurring in it is impossible. In connection with this the purpose of the work is the study of the change in the characteristics of the course of the valve gap intake valve depending on the design of the intake manifold to improve the whole of the intake tract of an internal combustion engine. For the study applies the method of visualization of the flow. As a result of the application of the method of visualization of the flow is made complex of research works and published their results on the study of гидрогазодинамических peculiarities of gas flow for the valve opening of the intake valve: fields of velocities, turbulent pulsations of the flow, distribution of fuel and drops a liquid phase of the fuel channe In the end, work has improved the air intake system of the engine of internal combustion. Testing of internal combustion engine with improved intake system showed a positive result.

Keywords: engine, intake manifold, valve gap, inlet valve, hydraulic and gas dynamic characteristics

Основополагающими процессами в двигателях внутреннего сгорания (ДВС), оказывающими существенное влияние на последующие процессы смесеобразования и сгорания, являются процессы впуска. Совершенство процесса впуска зависит от особенностей взаимного влияния впускных каналов и клапанных щелей впускных клапанов на гидрогазодинамические характеристики течения рабочего тела ДВС. Здесь значение впускных каналов в головке цилиндров состоит в том, что наряду с влиянием на наполнение они оказывают существенное влияние на турбулизацию заряда смеси в цилиндре ДВС, что в конечном итоге интенсифицирует процессы сгорания и непосредственно влияет на его эффективность. Кроме этого, для повышения эффективности ДВС необходимо уменьшить затраты энергии на процессы наполнения. Отметим, что по данным [3] во впускном тракте наибольшие потери энергии сосредоточены на участке перехода потока из коллектора в канал и в самом канале (с клапанной щелью) и составляют до 90 % от всех потерь на впуске. Создать опти-

мальную конструкцию каналов и клапанной щели впускной системы ДВС без детального исследования процессов протекающих в ней невозможно. В связи с этим целью работы является исследование изменения характеристик течения за клапанной щелью впускного клапана в зависимости от конструкции впускного коллектора для совершенствования всего впускного тракта ДВС.

В настоящее время существует ряд экспериментальных способов доводки и оценки впускного тракта двигателей. При этом в ряде случаев о совершенстве конструкции двигателя судят по его мощностным и экономическим показателям. Одна из методик доводки впускного тракта ДВС с применением методов визуализации для их плоских моделей описана в работах [2, 11]. В работе [11] описаны усовершенствованные методы доводки и оценки впускного тракта ДВС на основе комплексного исследования его газодинамических характеристик: полей скоростей, турбулентных пульсаций потока, визуализации структуры течения в канале. Исследованию технологических и газодинамических особенностей впускных каналов посвящены работы [1, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 14]. В настоящей работе выполняется совершенствование методики доводки и оценки впускного тракта ДВС методами визуализации потока. Исследования впускных каналов головки блока цилиндров проводились одновременно с исследованиями всего впускного тракта двигателя 4Ч 7,2/6,7 и непосредственно предшествовали его моторным испытаниям [12, 13]. Исследования проводились на установке, схематично показанной на рис. 1 с использованием в качестве рабочих тел «холодного» воздуха и воды. Схемы каналов варьируемых впускных коллекторов приведены на рис. 2 [11]. Базовые испытания проводились на серийной головке цилиндров в сборе с деталями газораспределительного механизма. При испытаниях к головкам блока пристыковывались серийный коллектор и экспериментальный – ИТМ-2 (рис. 2).

Головка цилиндров в сборе с серийным и экспериментальным коллекторами (препарированными для проведения эксперимента) продувалась воздухом с целью оценки аэродинамического сопротивления по каждому каналу и измерения полей скоростей и турбулентных пульсаций [11]. Воздух при давлении (10^3… 10^4) Па подавался по трубопроводу 2 (рис. 1) через фильтр 3 и карбюратор 4 с удаленным поплавком. По трубопроводу 5 на соответствующих режимах испытаний подавалась вода. Давление в модели контролировалось с помощью датчика 6 типа ИКД и *U*-образного манометра 7. Для определения расхода воздуха применялось стандартное сужающееся сопло 8. Перепад на нем измерялся с помощью датчика 9 «САПФИР», давление и температура до сопла определялись с помощью датчика 6 и термопары 10 типа *L* (ТХК). Погрешность определения расхода воздуха не превышала 1,5 %.

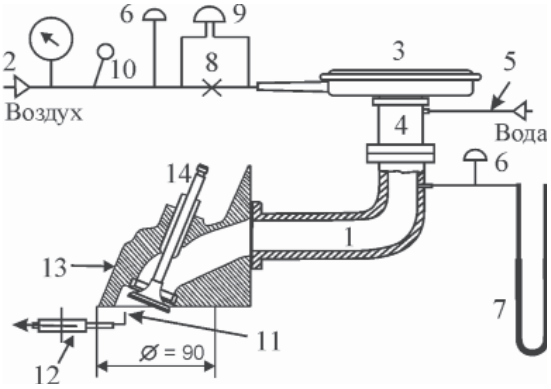

Рис. 1. Схема исследовательской установки: 1 – впускной коллектор; 2 – подвод воздуха; 3 – фильтр; 4 – карбюратор; 5 – подвод имитатора топлива; 6 – датчики давления; 7 – U-образный манометр; 8 – расходомерный участок; 9 – датчик перепада давления; 10 – термопара; 11 – нить термоанемометра; 12 – координатное устройство; 13 – головка цилиндров

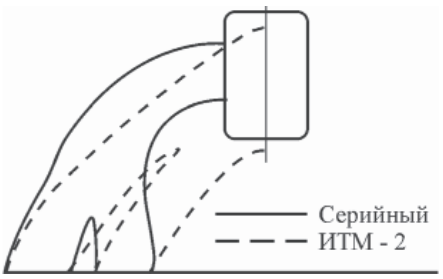

Рис. 2. Контуры внутренних каналов коллекторов: серийного и экспериментального [12]

Аэродинамическое сопротивление впускных каналов коллектора ввиду его малости оценивалось по величине расхода воздуха при продувке каждого канала от одного базового давления. Осредненная скорость и интенсивность турбулентности потока определялись с помощью комплекта термоанемометрической аппаратуры с измерителем 11 (рис. 1) на основе вольфрамовой нити. Продольное *X* и поперечное *Y* перемещения измерителя осуществлялись координатным устройством 12 с точностью до 0,1 мм. Замеры производились в 24 точках с шагом 2 мм в плоскостях в соответствии со схемой, ука-

занной на рис. 3. Погрешность измерения осредненной скорости не превышала 5 %. Показания термоанемометров контролировались по измерителю скорости ЦАГИ, описанному в [7].

На рис. 3 представлены профили скоростей на выходе из впускных каналов (3 и 4 цилиндров) головки цилиндров в сборе с серийным и модернизированным впускными коллекторами при максимальном открытии клапанов.

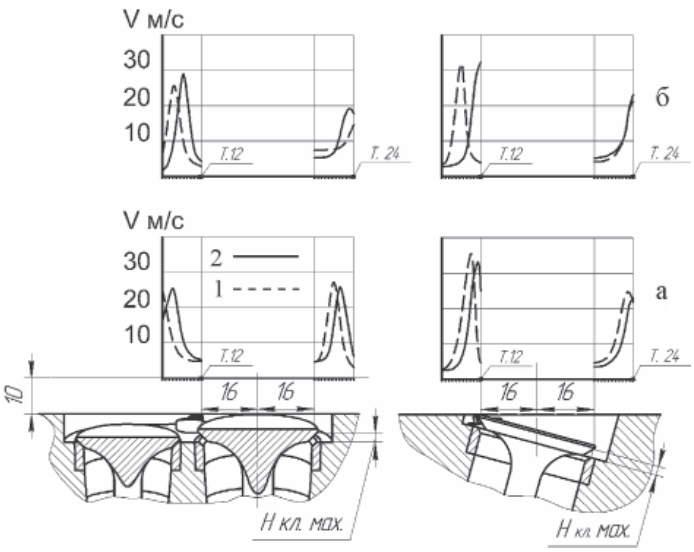

Рис. 3. Профили скорости за впускным клапаном:
1 – серийный впускной коллектор; 2 – модель коллектора ИТМ – 2;
а – третьего цилиндра; б – четвертого цилиндра

Исследование распределения скоростей за клапаном при варьировании геометрией каналов впускных коллекторов показало, что соответствующие профили имеют примерно одинаковые характеристики как в качественном, так и количественном отношении. При этом для крайнего (четвертого) канала наблюдается выравнивание поля скоростей относительно ядра потока. Для канала 3 наблюдается незначительное увеличение скорости при использовании коллектора ИТМ-2, которое может быть объяснено его меньшим гидравлическим сопротивлением. Указанные обстоятельства в том числе приводят к заметному уменьшению выпадения топлива на стенку виде пленки [13].

Интенсивность турбулентности вычислялась как отношение среднеквадратичного значения пульсационной составляющей (турбулентности) к осредненной скорости:

$$W = \frac{\sqrt{\overline{U^2}}}{V}.$$

Графические зависимости распределения интенсивности турбулентности по сечениям приведены на рис. 4. Распределение интенсивности турбулентности по сечению потока для двух типов впускных каналов примерно одинаково по форме и абсолютному значению для третьего цилиндра. Для цилиндра 4 наблюдается незначительное увеличение абсолютной величины интенсивности турбулентности. Испытания еще раз подтвердили, что пульсации за клапанной щелью впускного клапана определяются свойствами всей впускной системы и, в частности, конструкцией канала в головке блока, формой клапана, седла и условиями истечения.

Особый интерес представлял замер распределения капель жидкой фазы имитатора топлива по площади потока при различных режимах (рис. 5).

На рис. 5 по вертикальной оси отложено количество капель воды в секунду, зарегистрированных нитью термоанемометра. Отличия в распределении заметны лишь в поперечном сечении и объясняются большей плотностью имитатора топлива по отношению к продувочному воздуху. Подсчет взвешенных капель производился в точках замера скорости по пику электрического сигнала усилителя при охлаждении нити датчика каплей. Указанный вид исследований показывает соотношение между распыленным в поток топливом и выпавшим в виде пленки на стенку. Такие замеры особенно эффективны на режимах запуска холодного двигателя, особенно совместно с методом визуализации «Лазерный нож»

[3]. При такой схеме испытаний лазерный луч, развернутый в плоскость, «разрезал» поток на выходе из клапанной щели. Для уточнения направления течения в локальных областях проводилась визуализация методом шелковинок и задымления (рис. 6).

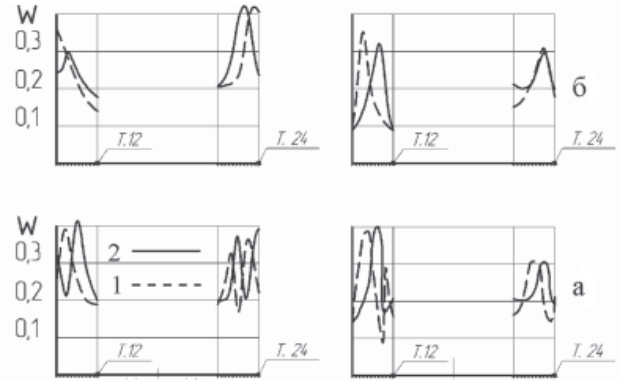

Рис. 4. Интенсивность турбулентных пульсаций за впускным клапаном:
1 – серийный впускной коллектор; 2 – модель коллектора ИТМ – 2;
а – третьего цилиндра; б – четвертого цилиндра

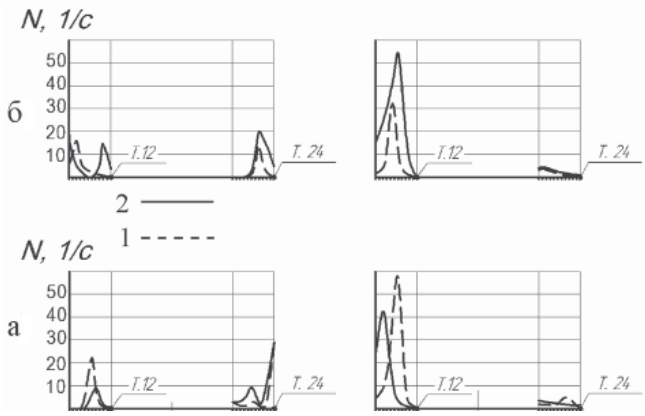

Рис. 5. Распределение капель жидкой фазы имитатора топлива за впускным клапаном:
1 – серийный впускной коллектор; 2 – модель коллектора ИТМ – 2;
а – третьего цилиндра; б – четвертого цилиндра

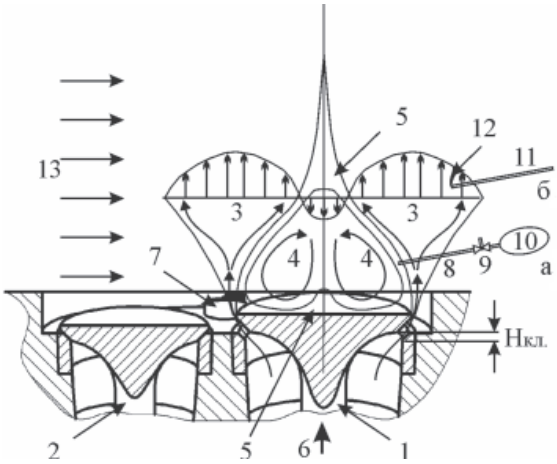

Рис. 6. Схема визуализации картины течения за впускным клапаном:
1 – впускной клапан; 2 – выпускной клапан; 3 – истечение из щели; 4 – область возвратных течений; 5 – донная область; 6 – подвод воздуха; 7 – свеча зажигания; 8 – трубка подвода дыма; 9 – клапан;10 – генератор дыма; 11 – державка шелковой нити;
12 – нить; 13 – плоскость «Лазерного ножа»;
а – дымовым методом с помощью «Лазерного ножа»; б – методом «шелковой нити»

Результаты моторных испытаний модернизированного впускного тракта в составе двигателя 4Ч 7,2/6,7 на моторном стенде выявили, что температура топливовоздушной смеси на выходе из коллекторов составляла 40°С. Для модели коллектора ИТМ 2 зафиксировано увеличение (до 3…5%) крутящего момента и мощности двигателя при эксплуатационных режимах его работы. Часовой расход топлива незначительно отличается для обоих вариантов впускных систем.

Список литературы

1. Базаров Д.И. Турбулизаторы топливовоздушной смеси и показатели двигателя с искровым зажиганием / Д.И. Базаров, Б.Х. Холмурзаев, К.Р. Шарипов // Автомобильная промышленность. – 2002. – № 11. – С. 27–30.
2. Белоконь К.Г. Визуализация структуры течения во впускных и выпускных каналах ДВС с использованием теневого прибора ИАБ-458 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.kampi.ru/scitech/base/nomer10/belokon/belokon.htm (дата обращения 10.05.2012).
3. Белоконь К.Г. Разработка конструкции, исследование и доводка геометрической формы впускных и выпускных каналов головок цилиндров двигателей семейства Камаз: дис. … канд. техн. наук: 05.04.02. – Набережные Челны, 2001. – 151 с.
4. Гальговский В.Р. Энергетические показатели транспортных двигателей / В.Р. Гальговский, Д.С. Мокроусов, Н.Д. Чайнов // Двигателестроение. – 2009. – № 4. – С. 6–10.
5. Жаров А.В., Павлов А.А., Большаков В.А. Способ получения седла клапанов чугунных головок цилиндров двс при их изготовлении или восстановлении методом электродуговой наплавки // Патент России № 2448825 С2, 10.01.2012. Бюл. № 12.
6. Кочетков Ю.М. Турбулентность сложных каналов // Двигатель. – М.: НИИЭАП, 2008. – № 3(57) – С. 77.
7. Петунин А.Н. Методы техники измерения параметров газового потока. – М.: Машиностроение, 1972. – 232 с.
8. Письменный Д. Н. Влияние конфигурации ребер – турбулизаторов на теплообмен и потери давления в охлаждающем канале вдоль входной кромки лопатки / Д.Н. Письменный, Ю.Я. Дашевский, А.А. Халатов // Промышленная теплотехника. – 2010. – Т. 32, № 4. – С. 54–62.
9. Поваляев В.А. Улучшение показателей работы тракторного дизеля совершенствованием впускных каналов: дис. … канд. техн. наук: 05.04.02. – Челябинск, 2007. – 185 с.
10. Христенко А.В., Леонов В.Е. Впускной коллектор двигателя внутреннего сгорания // Патент России № 2275516 С1, опубл. 28.12.05. Бюл. № 12.
11. Чаплиц А.Д., Астапов А.И. Визуализация газовых потоков во внутренних каналах. Днепропетровск: НАН Украины и НКА Украины, Институт технической механики, 2007. – 209 с.
12. Чаплиц А.Д. Исследование газодинамических параметров во впускном коллекторе автомобильного двигателя с применением методов визуализации // Материалы второго республиканского научно-технического семинара по улучшению показателей тепловых двигателей и ресурсосбережению. – Мелитополь: Таврическая государственная агротехническая академия, 1996. – С. 37-38.
13. Чаплиц А.Д. Исследование газодинамики впускного тракта двигателя МеМЗ-245 с применением методов визуализации // Вестник харьковского государственного политехнического университета. Сборник научных трудов. – Харьков: ХДПУ, 1999 - Вып. 85. – С. 129–135.
14. Юмагузин Т.А., Брянцев А.Х. Устройство для гомогенизации топливовоздушной смеси в двигателе внутреннего сгорания // Патент России № 2166116 С1, 27.04.2001. Бюл. № 5.

References

1. Bazarov D.I., Holmurzaev B.H., and Sharipov K. R. «*Turbulizatory toplivovozdushnoj smesi i pokazateli dvigatelja s iskrovym zazhiganiem*» (Baffles fuel ratio and performance of a spark-ignition engine). *Automotive Industry* (2002): pp. 27–30.
2. Belokon' K.G. *Vizualizaciya struktury techeniya vo vpusknyh i vypusknyh kanalah DVS s ispol'zovaniem tenevogo pribora IAB* – 458 (Visualization of the flow structure in the inlet and outlet channels of the ICE using schlieren instrument IAB – 458), Available at: http://www.kampi.ru/scitech/base/nomer10/belokon/ belokon.htm (accessed 10.05.2012).
3. Belokon' K.G. *Razrabotka konstrukcii, issledovanie i dovodka geometricheskoj formy vpusknyh i vypusknyh kanalov golovok cilindrov dvigatelej semejstva Kamaz* (Development of design, research and refinement of the geometric shape of inlet and outlet channels of the cylinder head engines of Kamaz): Dissertation of the candidate of technical sciences: 05.04.02. Naberezhnye Chelny, 2001. 151 p.
4. Gal'govskij V.R., Mokrousov D.S., and Chajnov N.D. «*Jenergeticheskie Pokazateli Transportnyh Dvigatelej*.» (Energy performance of vehicle engines) *Engine Construction* no. 4 (2009): pp. 6–10.
5. Zharov A.V., Pavlov A.A., Bol'shakov V.A. *Sposob poluchenija sedla klapanov chugunnyh golovok cilindrov dvs pri ih izgotovlenii ili vosstanovlenii metodom jelektrodugovoj naplavki* (A method for producing the valve seats iron combustion engine cylinder head during manufacture or repair by arc welding). The patent of Russia, no. 2448825 C2, 10.01.2012. The bulletin no. 12.
6. Kochetkov Ju.M. «*Turbulentnost' Slozhnyh Kanalov.*» (Turbulence complex channels) *Engine* no. 3(57) (2008): p. 77.
7. Petunin A.N. *Metody Tehniki Izmerenija Parametrov Gazovogo Potoka* (Methods of measurement technology of gas flow parameters). Moscow: Mechanical Engineering, 1972. 232 p.
8. Pis'mennyj D.N, Dashevskij Ju.Ja., and Halatov A.A. «*Vlijanie Konfiguracii Reber – Turbulizatorov Na Teploobmen I Poteri Davlenija v Ohlazhdajushhem Kanale Vdol' Vhodnoj Kromki Lopatki*.» (Effect configuration edges – turbulators for heat transfer and pressure loss in the cooling passage along the leading edge of the blade) *Industrial Heat* T32 (2010): pp. 54–62.
9. Povaljaev V.A. *Uluchshenie pokazatelej raboty traktornogo dizelja sovershenstvovaniem vpusknyh kanalov* (Improving the performance of the tractor diesel improvement inlets): Dissertation of the candidate of technical sciences: 05.04.02. Chelyabinsk, 2007. 185 p.
10. Hristenko A.V., Leonov V.E. *Vpusknoj kollektor dvigatelja vnutrennego sgoranija* (Inlet manifold internal combustion engine). The patent of Russia, no. 2275516 C1, 28.12.05. The bulletin № 12.
11. Chaplits A. D., Astapov A.I. *Vizualizaciya gazovyh potokov vo vnutrennih kanalah* (Visualization of gas flows in internal channels). Dnepropetrovsk: NAS and NSA of Ukraine, Institute of Engineering Mechanics, 2007. 209 p.
12. Chaplits A.D. *Issledovanie gazodinamicheskih parametrov vo vpusknom kollektore avtomobil'nogo dvigatelya s primeneniem metodov vizualizacii* (Study of the parameters in the intake manifold of the engine with the use of imaging) Proceedings of the Second National Scientific and Technical Workshop to improve the performance of heat engines and resource. Melitopol: Taurian State Agrotechnical Academy, 1996. pp. 37–38.
13. Chaplits A.D. *Issledovanie gazodinamiki vpusknogo trakta dvigatelya MeMZ*-245 *s primeneniem metodov vizualizacii* (The study of gas dynamics engine inlet tract MeMZ-245 with the use of imaging). Bulletin of the Kharkiv State Technical University. Collection of scientific works. Kharkov: HDPU, 1999. no. 85, pp. 129–135.
14. Jumaguzin T.A., Brjancev A.H. *Ustrojstvo dlja gomogenizacii toplivovozdushnoj smesi v dvigatele vnutrennego sgoranija* (An apparatus for homogenizing the air-fuel mixture in the combustion engine).The patent of Russia, no. 2166116 C1, 27.04.2001. The bulletin no. 5.

Рецензенты:

Епархин О.М., д.т.н., профессор, Ярославский филиал ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет путей сообщения» (МИИТ), г. Ярославль;

Мурашов А.А., д.т.н., профессор кафедры математических и естественнонаучных дисциплин Московского финансово-юридического университета МФЮА, г. Москва.

Работа поступила в редакцию 27.05.2013.