

УДК 621.43.001.42

## ДИАГНОСТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВЫПУСКА ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ПУТЕМ КОНТРОЛЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ВЫПУСКНОГО ТРАКТА

**Плаксин А.М., Гриценко А.В., Бисенов С.Э., Глемба К.В., Лукомский К.И.**

*Челябинская государственная агроинженерная академия, Челябинск, e-mail: alexgrits13@mail.ru;*

*Южно-Уральский государственный университет (НИУ), Челябинск, e-mail: glemba77@mail.ru*

В статье представлен новый способ диагностирования системы выпуска и диагностическое средство для его реализации. Выявлено – отказы, связанные с неисправностями катализатора и датчика кислорода, являются первыми в ряду неисправностей систем двигателя внутреннего сгорания. Анализ факторов, влияющих на техническое состояние элементов системы выпуска показывает, что наиболее уязвимы и подвержены отказам – каталитический нейтрализатор и датчик кислорода. Проведенный анализ методов и средств диагностирования позволил выявить: наиболее перспективным направлением является разработка новых методов диагностирования выпускного тракта с использованием осциллографа Постоловского и отключателя электромагнитных форсунок. При диагностировании проводится анализ отдельных участков осциллограммы количества газов в цилиндре в зависимости от угла поворота коленвала при обеспечении тестового нагружения. Тестовое нагружение обеспечивается путем полного и частичного отключения искрообразования и топливоподдачи в диагностируемый цилиндр двигателя. При этом баланс индикаторной мощности и мощности механических потерь и его смещение характеризуют техническое состояние элементов выпускного тракта. При исправности всех элементов выпускного тракта данный баланс находится в определенных границах, и его фиксация позволяет с высокой чувствительностью определять неисправный элемент. Баланс индикаторной мощности и мощности механических потерь определяется по установленному значению частоты вращения двигателя на заданном тестовом режиме. Также оценивается выбег коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания и сопротивление выпускной системы. Процесс диагностирования с использованием данных диагностических параметров позволяет с высокой достоверностью определять техническое состояние системы выпуска отработавших газов. Получен патент на изобретение Российской Федерации № 2011139288 на данный метод и приборные средства его реализации.

**Ключевые слова:** диагностирование, система выпуска отработавших газов, катализатор, датчик кислорода, способ диагностирования, диагностические параметры, сопротивление выпускного тракта

## DIAGNOSING EXHAUST SYSTEMS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES BY MONITORING THE RESISTANCE OF THE EXHAUST PIPE

**Plaksin A.M., Gritsenko A.V., Bisenov S.E., Glemba K.V., Lukomskiy K.I.**

*Chelyabinsk State Agroengineering Academy, Chelyabinsk, e-mail: alexgrits13@mail.ru;*

*South Ural State University (NRU), Chelyabinsk, e-mail: glemba77@mail.ru*

The paper presents a new method of diagnosing the exhaust system and diagnostic tool for its implementation. Revealed – the failures associated with defects of the catalyst and oxygen sensor are the first in a series of fault systems of internal combustion engine. Analysis of factors affecting the technical state of the elements of the exhaust system shows that the most vulnerable and susceptible to failure – the catalytic converter and oxygen sensor. The analysis methods and means of diagnosis revealed: the most promising direction is to develop new methods of diagnosing the exhaust pipe using an oscilloscope Postolovskogo and disconnecter electromagnetic injectors. When the diagnosis is carried out waveform analysis of the individual portions in the cylinder the amount of gas depending on the crank angle while ensuring the loading test. Test loading is achieved by full and partial shutdown sparks and fuel in the engine cylinder diagnosed. With the balance of power and the power indicator mechanical losses and offset elements characterize the technical condition of the exhaust tract. When all elements of serviceability of the final tract this balance is within certain limits, and its fixation allows high sensitivity to identify the faulty component. Balance of power and the power indicator mechanical loss is determined by the set value of engine speed at a given test mode. Also estimated overrun crankshaft of the internal combustion engine and the resistance of the exhaust system. Troubleshooting process using data diagnostic parameters allows high reliability to determine the technical state of the exhaust system. Received a patent for the invention of the Russian Federation № 2011139288 on the method and instrumentation means of its realization.

**Keywords:** diagnosis, exhaust system, catalytic converter, oxygen sensor, the method of diagnosis, diagnostic parameters, resistance to the exhaust pipe

Автомобильный транспорт занимает лидирующее место в структуре перевозки грузов (69%) и пассажирообороте (71%), доля которых неуклонно растет пропорционально динамике роста числа мобильных энергетических средств.

**Актуальность темы.** Легковые автомобили являются самым распространенным источником загрязнения окружающей среды токсическими вредными выбросами. По

этой причине законодательные международные и национальные требования, накладывающие ограничение на степень этого загрязнения, периодически ужесточаются. При этом конструкции легковых автомобилей подвергаются непрерывному совершенствованию. В частности, это подразумевает разработку и внедрение в производство эффективных технических устройств уменьшающих выброс токсических веществ,

таких как CO, NO<sub>x</sub>, CH, а также твердых частиц сажи в составе отработавших газов (ОГ) [1, 2, 3, 4].

**Целью настоящей работы** является повышение эффективности диагностирования элементов системы выпуска ДВС путем контроля отдельных участков осциллограммы количества газов в цилиндре в зависимости от угла поворота коленвала при обеспечении тестового нагружения; выбега коленчатого вала ДВС и сопротивления выпускной системы.

Проведенный анализ факторов, влияющих на техническое состояние элементов системы выпуска, показывает, что наиболее уязвимы и подвержены отказам каталитический нейтрализатор и датчик кислорода (далее в тексте λ-зонд). Поэтому при эксплуатации ДВС необходимо осуществлять процесс контроля технического состояния данных элементов выпускного тракта [4, 5, 6].

Проведем анализ методов и средств диагностирования элементов системы выпуска ДВС (табл. 1).

**Таблица 1**

Анализ методов и средств диагностирования ДВС

Методы	Средство	Преимущества	Недостатки
1. Проверка токсичности	Газоанализатор	Точность, универсальность	Сложность локализации причины
2. Перепад давления	Осциллограф Постоловского, тензоаппаратура с датчиками давления	Высокая чувствительность, универсальность, точность, мобильность	Высокая стоимость, необходима высокая квалификация персонала
3. Электрические параметры λ-зонда	Мотор-тестер МТ-10	Универсальность, оперативность поиска неисправностей	Для использования необходим квалифицированный персонал, высокая трудоемкость
4. Мощность ДВС	Мотор-тестер МТ-10	Универсальность, оперативность поиска неисправностей	Для использования необходим квалифицированный персонал
5. Выбег ДВС	Отключатель электромагнитных форсунок	Удобство в использовании, достоверность, дешевизна	Необходима высокая квалификация персонала, сложность анализа информации
6. Сопротивление прохождению отработавших газов	Осциллограф Постоловского, отключатель электромагнитных форсунок	Высокая чувствительность, оперативность, достоверность, универсальность	Необходима высокая квалификация персонала, сложность анализа информации

Проведенный анализ методов и средств диагностирования позволил выявить их основные преимущества и недостатки. Наиболее перспективным направлением является разработка новых методов диагностирования выпускного тракта с использованием осциллографа Постоловского и отключателя электромагнитных форсунок [5, 6, 7, 8, 9]. В данном случае использование отключателя электромагнитных форсунок позволяет задавать нагрузочные режимы для повышения чувствительности диагностических признаков.

**Теоретические исследования**

Степень очистки отработавших газов определяется [1, 3, 4]:

$$\delta = 1 - \exp\left(-\frac{0,41 \cdot a \cdot l}{Re_{\lambda}^{0,25}}\right), \quad (1)$$

где δ – степень очистки отработавших газов; a – удельная поверхность гранул ката-

лизатора, м<sup>2</sup>/г; l – толщина слоя катализатора, м; Re<sub>λ</sub> – эффективное число Рейнольдса.

Перепад давления на слое катализатора:

$$\Delta P_{сл} = \frac{G^2}{F^2 \cdot \rho} \cdot \frac{a \cdot l}{2 \cdot \varepsilon^2} \cdot f_{\lambda}, \quad (2)$$

где G – массовый расход отработавших газов, кг/с; F – площадь реактора, м<sup>2</sup>; ρ – плотность, кг/м<sup>3</sup>; ε – пористость слоя катализатора; f<sub>λ</sub> – коэффициент сопротивления.

Коэффициент сопротивления можно найти из выражения

$$f_{\lambda} = \frac{36,4}{Re_{\lambda}} + 0,45. \quad (3)$$

Эффективное число Рейнольдса –

$$Re_{\lambda} = \frac{4 \cdot G}{F \cdot \mu \cdot a}, \quad (4)$$

где μ – динамическая вязкость газа, Па·с.

Для примера рассмотрим влияние технического состояния системы выпуска

(увеличенное сопротивление) на мощность ДВС (по снижению частоты вращения коленчатого вала ДВС) [5, 7, 9, 10]:

$$n_{\text{нн}} = n_{p1} \pm \Delta n_{p1}, \quad (5)$$

где  $n_{\text{нн}}$  – частота вращения коленчатого вала исправного ДВС (табличное значение),  $\text{мин}^{-1}$ ;  $n_{p1}$  – реальное значение частоты вращения коленчатого вала неисправного ДВС,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $\pm \Delta n_{p1}$  – увеличение или уменьшение частоты вращения коленчатого вала ДВС, связанное с неисправностью системы выпуска,  $\text{мин}^{-1}$ .

Из представленного выражения (5) видно, что реальное (фактическое) значение частоты вращения коленчатого вала ДВС  $n_{p1}$  при диагностировании отличается от табличного значения  $n_{\text{нн}}$  на величину  $\Delta n_{p1}$ . Величина  $\pm \Delta n_{p1}$  зависит от технического состояния элементов системы выпуска. При исправности элементов системы вы-

пуска  $n_{\text{нн}} = n_{p1}$ , что даст в выражении (5)  $n_{p1}/n_{\text{нн}} = 1$ . При неисправности системы выпуска отношение  $n_{p1}/n_{\text{нн}} \neq 1$ , а значение мощности реального ДВС будет отличаться от значения мощности исправного (эталонного) ДВС [10].

#### Методика диагностирования системы выпуска

Перед процессом диагностирования выпускного тракта поршневых двигателей внутреннего сгорания подсоединяют отключатель электромагнитных форсунок к штатным электромагнитным форсункам и осциллограф Постоловского [6, 10].

Реализация данного метода возможна при помощи диагностических средств: осциллографа Постоловского (рис. 1, а) и отключателя электромагнитных форсунок (рис. 1, б) (для формирования тестовых режимов).



а



б

Рис. 1. Диагностические средства:  
а – осциллограф Постоловского с датчиком давления;  
б – отключатель электромагнитных форсунок

Запускают двигатель и приступают к диагностированию выпускного тракта. Для этого задают номинальную частоту вращения коленчатого вала двигателя при помощи дроссельной заслонки автомобиля. Поддерживая ее неизменное значение, отключателем электромагнитных форсунок выключают одновременно все цилиндры. За время от момента выключения цилиндров двигателя до его полной остановки осциллографом Постоловского измеряют число оборотов коленчатого вала [6, 10].

Сравнивают измеренное число оборотов коленчатого вала с эталонным (за эталон принимают число оборотов коленчатого вала для нового двигателя). Чем меньше оборотов делает двигатель до полной оста-

новки, тем больше сопротивление выпускного тракта.

Увеличение сопротивления выпускного тракта двигателя приводит к уменьшению мощности ДВС. Согласно нормативно-технической документации уменьшение номинальной мощности двигателя на 15% считается отказом. Практика эксплуатации и диагностирования двигателей показывает, что предельное значение мощности наблюдается при сопротивлении выпускного тракта +8,62 кПа [6].

Проведенные измерения и расчеты энергии, затрачиваемой на преодоление потерь на газообмен при нормальном техническом состоянии двигателя ЗМЗ 4062 и при предельно увеличенном сопротивлении на выпуске, представлены в табл. 2.

**Таблица 2**  
Затраты энергии на газообмен за один цикл работы двигателя

Техническое состояние двигателя	Затраты энергии, Дж	Затраты энергии, %
Исправный двигатель	145	100
Увеличено сопротивление выпуску на +8,62 кПа	178	123

Анализ результатов расчетов, представленных в табл 2, показывает, что предельное увеличение сопротивления выпуску отработавших газов увеличивает затраты энергии на газообмен на 23 % за цикл [6].

При проведении измерений снимается осциллограмма количества газов в цилиндре в зависимости от угла поворота коленчатого вала (рис. 2).

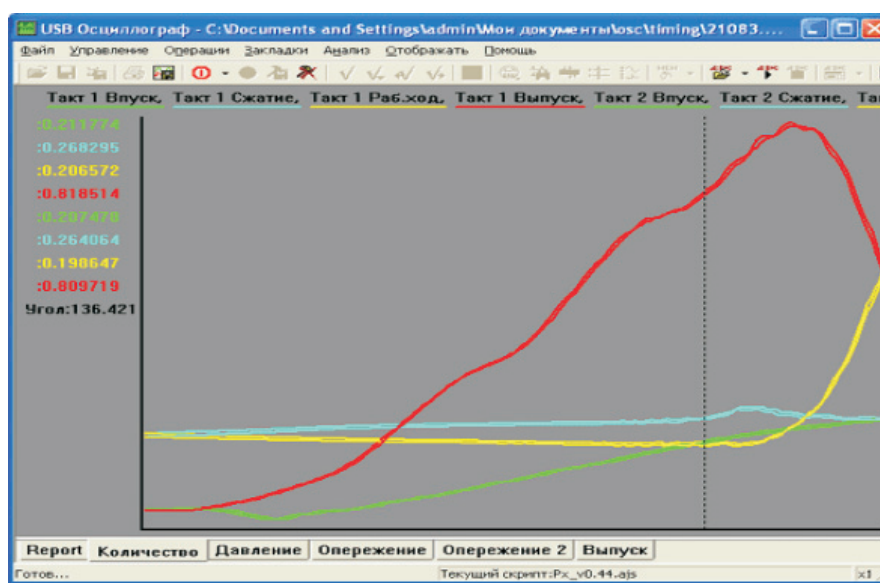


Рис. 2. Осциллограмма количества газов в цилиндре в зависимости от угла поворота коленчатого вала: крайнее левое положение графика совпадает с ВМТ; крайнее правое положение графика совпадает с НМТ; зелёный – такт впуска; синий – такт сжатия; жёлтый – такт рабочего хода; красный – такт выпуска

При диагностировании проводится анализ отдельных участков осциллограммы количества газов в цилиндре в зависимости от угла поворота коленвала при обеспечении тестового нагружения. Также оценивается выбег коленчатого вала ДВС и сопротивление выпускной системы [10].

### Выводы

Отказы, связанные с неисправностями катализатора и  $\lambda$ -зонда, являются первыми в ряду неисправностей систем ДВС. Проведенный анализ факторов, влияющих на техническое состояние элементов системы выпуска, показывает, что наиболее уязвимы и подвержены отказам – каталитический нейтрализатор и  $\lambda$ -зонд. Проведенный анализ методов и средств диагностирования позволил выявить: наиболее перспективным направлением является разработка новых методов диагностирования выпускного тракта с использованием осциллографа Постоловского и отключателя электромагнитных форсунок. При диагностировании

проводится анализ отдельных участков осциллограммы количества газов в цилиндре в зависимости от угла поворота коленвала при обеспечении тестового нагружения. Также оценивается выбег коленчатого вала ДВС и сопротивление выпускной системы.

### Список литературы

1. Лешаков И.А., Кравченко И.Н., Ерофеев М.Н. Математическая модель расчета основных параметров каталитических нейтрализаторов // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 5. – С. 76–80.
2. Гайдар С.М., Свечников В.Н., Усманов А.Ю., Иванов М.И. Улучшение эксплуатационных характеристик двигателя с применением нанотехнологий // Труды ГОСНИТИ. – 2013. – Т. 111. – С. 4–8.
3. Исаенко П.В., Исаенко В.Д. К расчету гидравлического сопротивления очистителя-нейтрализатора для систем выпуска отработавших газов машин автотранспортного комплекса // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – Томск, 2006. – № 1. – С. 95–106.
4. Исаенко В.Д. Основы теории надежности и диагностика автомобилей: учебное пособие / В.Д. Исаенко, А.В. Исаенко, П.В. Исаенко; Федеральное агентство по образованию, гос. образовательное учреждение высш. проф.



образования Томский гос. архитектурно-строит. ун-т. – Томск, 2007. – 238 с.

5. Плаксин А.М., Гриценко А.В. Разработка средств и методов тестового диагностирования машин // Вестник КрасГАУ. – Красноярск, 2013. – № 12. – С. 123–128.

6. Патент № 2474805 Российская Федерация, RU G 01 М 15/04. Способ диагностирования выпускного тракта поршневого двигателя внутреннего сгорания / А.В. Гриценко, С.С. Куков, К.А. Цыганов, А.В. Горбунов. № 2011139288; заявл. 26.09.11; опубл. 27.02.13, Бюл. № 6.

7. Гриценко А.В., Плаксин А.М., Цыганов К.А. Концептуальные вопросы разработки тестовых систем диагностирования мобильных энергетических средств // Вестник ЧГАА. – Челябинск, 2013. – Т. 65. – С. 9–19.

8. Гриценко А.В., Плаксин А.М. Диагностирование системы питания ДВС // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2014. – № 1. – С. 24–26.

9. Гриценко А.В., Куков С.С. Диагностирование систем ДВС на тестовых статических режимах // Вестник ЧГАА. Челябинск, – 2012. – Т. 61. – С. 31–38.

10. Гриценко А.В. Разработка методов тестового диагностирования работоспособности систем питания и смазки двигателей внутреннего сгорания (экспериментальная и производственная реализация на примере ДВС автомобилей). дис. ... д-ра техн. наук. – Челябинск, 2014. – 397 с.

### References

1. Leshakov I.A., Kravchenko I.N., Erofeev M.N. Matematicheskaja model' rascheta osnovnyh parametrov kataliticheskikh nejtralizatorov // Sovremennye naukoemkie tehnologii. 2013, no. 5, pp. 76–80.

2. Gajdar S.M., Svechnikov V.N., Usmanov A.Ju., Ivanov M.I. Uluchshenie jekspluatacionnyh harakteristik dvigatelja s primeneniem nanotehnologij // Trudy GOSNITI. 2013, T. 111, pp. 4–8.

3. Isaenko P.V., Isaenko V.D. K raschetu gidravlicheskogo soprotivlenija ochistitelja-nejtralizatora dlja sistem vypuska otrabotavshih gazov mashin avtotransportnogo kompleksa // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Tomsk, 2006, no. 1, pp. 95–106.

4. Isaenko V.D. Osnovy teorii nadezhnosti i diagnostika avtomobilej. Uchebnoe posobie / V.D. Isaenko, A.V. Isaenko,

P.V. Isaenko; Federal'noe agentstvo po obrazovaniju, Gos. obrazovatel'noe uchrezhdenie vyssh. prof. obrazovanija Tomskij gos. arhitekturno-stroit. un-t. Tomsk, 2007, 238 p.

5. Plaksin A.M., Gricenko A.V. Razrabotka sredstv i metodov testovogo diagnostirovanija mashin // Vestnik KrasGAU, Krasnojarsk, 2013, no. 12, pp. 123–128.

6. Patent no. 2474805 Rossijskaja Federacija, RU G 01 М 15/04. Sposob diagnostirovanija vypusknogo trakta porshneвого dvigatelja vnutrennego sgoranija / A.V. Gricenko, S.S. Kukov, K.A. Cyganov, A.V. Gorbunov. no. 2011139288; zajavl. 26.09.11; opubl. 27.02.13, bjul. no. 6.

7. Gricenko A.V., Plaksin A.M., Cyganov K.A. Konceptual'nye voprosy razrabotki testovyh sistem diagnostirovanija mobil'nyh jenergeticheskikh sredstv // Vestnik ChGAA, Cheljabinsk, 2013, T. 65, pp. 9–19.

8. Gricenko A.V., Plaksin A.M. Diagnostirovanie sistemy pitaniya DVS // Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva. 2014, no. 1, pp. 24–26.

9. Gricenko A.V., Kukov S.S. Diagnostirovanie sistem DVS na testovyh staticheskikh rezhimah // Vestnik ChGAA, Cheljabinsk, 2012, T. 61, pp. 31–38.

10. Gricenko A.V. Razrabotka metodov testovogo diagnostirovanija rabotosposobnosti sistem pitaniya i smazki dvigatelej vnutrennego sgoranija (jeksperimental'naja i proizvodstvennaja realizacija na primere DVS avtomobilej). Dis... dokt. tehn. nauk. Cheljabinsk. 2014. 397 p.

### Рецензенты:

Машрабов Н.М., д.т.н., профессор кафедры «Технология и организация технического сервиса», Челябинская государственная агроинженерная академия, г. Челябинск;

Ерофеев В.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедры «Технология и организация технического сервиса», Челябинская государственная агроинженерная академия, г. Челябинск.

Работа поступила в редакцию 21.05.2014.