

УДК 621.43

ТЕСТОВОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ПО ПАРАМЕТРАМ ТОКСИЧНОСТИ

Бурцев А.Ю.¹, Скорик Н.А.², Галицин С.А.³

¹к.т.н., доцент кафедры «Горного дела и техносферной безопасности» филиала Кузбасского государственного технического университета им. Т.Ф. Горбачева, г. Белово.

²магистрант кафедры «Технический сервис машин, оборудования и безопасность жизнедеятельности», ФГБОУ ВО Южно-Уральский государственный аграрный университет.

³магистрант кафедры «Технический сервис машин, оборудования и безопасность жизнедеятельности», ФГБОУ ВО Южно-Уральский государственный аграрный университет.

Аннотация. В статье приведены особенности выбора диагностических параметров при контроле технического состояния топливной системы и системы зажигания бензиновых двигателей. Предлагается тестовый метод контроля двух рабочих параметров на выпуске отработавших газов: концентрации CO, % и CH, млн⁻¹. Новизна метода заключается в индивидуальном приложении тестовых нагрузок к диагностируемому цилиндру и отклику комплекса элементов на воздействие. Результат заключается в повышении точности и эффективности контроля систем топливоподачи и зажигания.

Ключевые слова: двигатель, система зажигания, система топливоподачи, диагностические параметры, контроль, анализ, отказы.

Актуальность исследования. Современные двигатели достигли максимума с точки зрения удельных мощностных показателей [1, 2, 3]. Для этой цели внедрены непосредственный впрыск, рециркуляция отработавших газов, турбонаддув, лазерные системы зажигания и др. [4, 5, 6]. Например, временные рамки впрыска ограничиваются уже микросекундами и любые изменения пропускной способности форсунок мгновенно скажутся на выходной мощности [7, 8, 9]. То же самое можно сказать про систему зажигания, подгорание электродов свечей или пробой изолятора значительно снижают эффективность работы двигателя [10, 11, 12]. В рядовой эксплуатации важно следить за любыми отклонениями процесса впрыска и искрообразования [13, 14, 15]. Однако, это не просто реализовать из-за наложения фоновых неисправностей других систем [16, 17, 18]. Нивелировать действие множественных неисправностей позволяет тестовый метод, основанный на отключении отдельных цилиндров и рабочих циклов в сочетании с газоанализом [19, 20]. С учетом сказанного, **целью исследования** является разработка метода тестового диагностирования и выбор диагностических параметров.

Материалы и методы. Для выбора информативных и чувствительных диагностических параметров требуется рассмотреть изменения параметров

токсичности под действием варьируемых режимов работы ДВС [21, 22]. Для этого рассмотрим график зависимости, представленный на рисунке 1.

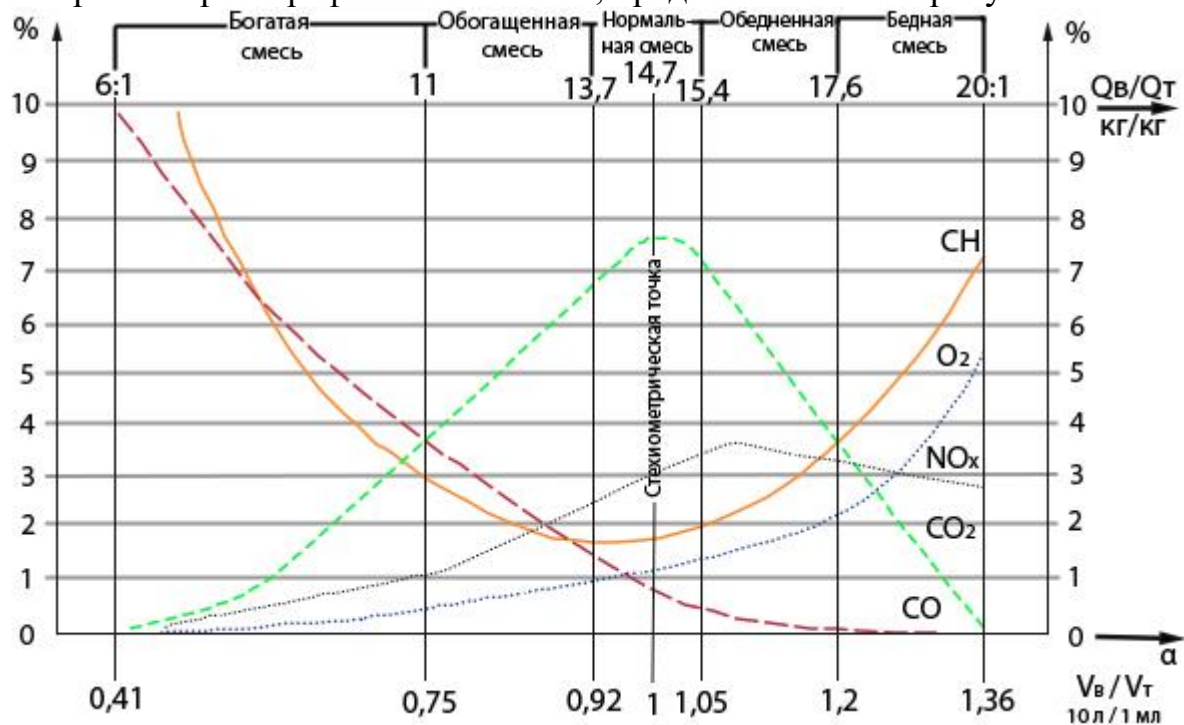


Рисунок 1 – График зависимости изменения параметров токсичности от коэффициента избытка воздуха α (снизу) и соотношения объема воздуха к объему топлива r , кг/кг (сверху)

Как видно из рисунка 1, параметры CO и CH ведут себя похожим образом в зоне богатых и обогащенных топливно-воздушных смесей (ТВС). В зоне нормального состава ТВС, оба графика значительно расходятся: параметр CO стремится к минимуму, в то время как значение CH начинает резко возрастать. Объясняется это существенным обеднением ТВС и ухудшением условий для полноценного сгорания топлива [23, 24]. Таким образом, контролируя два данных параметра, можно с высокой точностью определять изменение состава ТВС в сторону обеднения или обогащения. К тому же, варьируя нагрузкой в виде отключения отдельных цилиндров и циклов, можно идентифицировать единичные изменения, происходящие в интересующем нас цилиндре ДВС.

Для возможности проведения экспериментальных исследований, была разработана установка на базе ДВС ВАЗ-2112, размещенная на раму, с максимально удобным допуском ко всем исследуемым системам (рисунок 2).

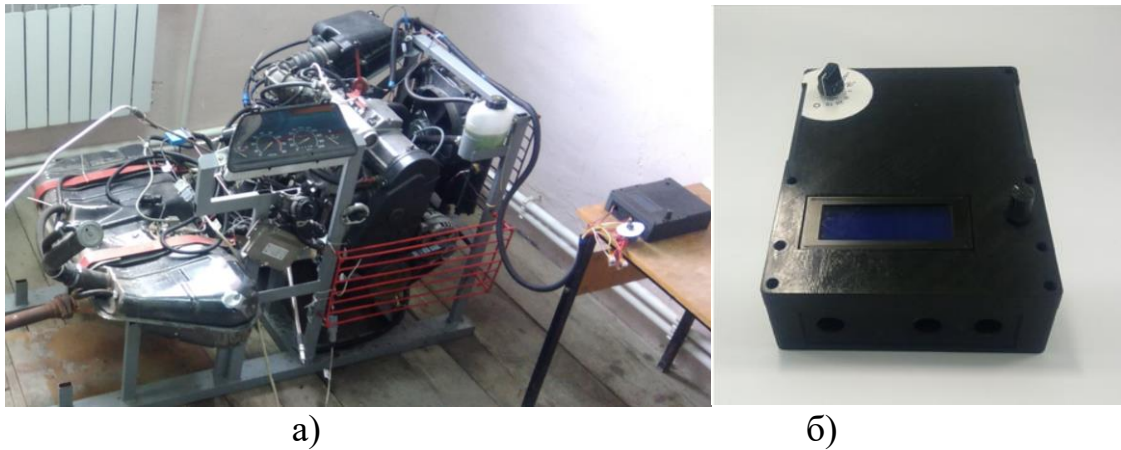


Рисунок 2 – Лабораторные установки и приборы: а) Опытная установка с подключенным тестовым прибором ДБД-4; б) прибор ДБД-4

Как видно из рисунка 2 а), опытная установка представляет собой последовательную композицию агрегатов с рабочей панелью управления. Элементы выпуска и вращающиеся детали изолированы защитными решетками для исключения травматизма. На столе рядом с опытной установкой размещен прибор ДБД-4 и отдельно показан на рисунке 2 б). Разработка прибора представлена в многочисленных исследованиях профессора Гриценко А.В. и его учеников [24, 25]. Прибор ДБД-4 в данной версии адаптирован только для разновидностей ВАЗовских двигателей, но в различных версиях разработаны для других марок автомобилей отечественного и иностранного производства. Прибор оперативно подключается к разъему электромагнитных форсунок, не мешая функционированию систем. Однако, при реализации тестовых методик позволяет отключать отдельные цилиндры и циклы, варьируя также длительность впрыска с дискретностью в 0,01 мс. Пределы изменения длительности впрыска определяются соответствующим режимом и ограничены пределами работоспособности, как в сторону обеднения ТВС, так и в сторону ее обогащения. Управление функциями отключения производится в режиме реального времени с небольшой задержкой времени, связанной с установлением постоянства требуемого условия для диагностирования.

При проведении пробного эксперимента варьировали значением зазора свечи зажигания в пределах от 0,3 до 1,5 мм. Данные пределы были выбраны с учетом того, что при зазорах 0,1 и 0,2 мм возникают значительные перебои в процессах сгорания. Максимальное значение 1,5 мм было выбрано исходя из условия, что при зазоре выше данного значения, возникают критические условия для катушки зажигания (повышается вероятность ее пробоя). Кроме того, варьировали величиной длительности впрыска в пределах возможного функционирования ДВС. С учетом рассмотренных условий был проведен эксперимент и получена зависимость $CO, \%$ от варьируемых величин: зазора свечи зажигания $Z, \text{мм}$ и длительности впрыска $t, \text{мс}$ (забор отработавших газов осуществлялся до каталитического нейтрализатора) рисунок 3.

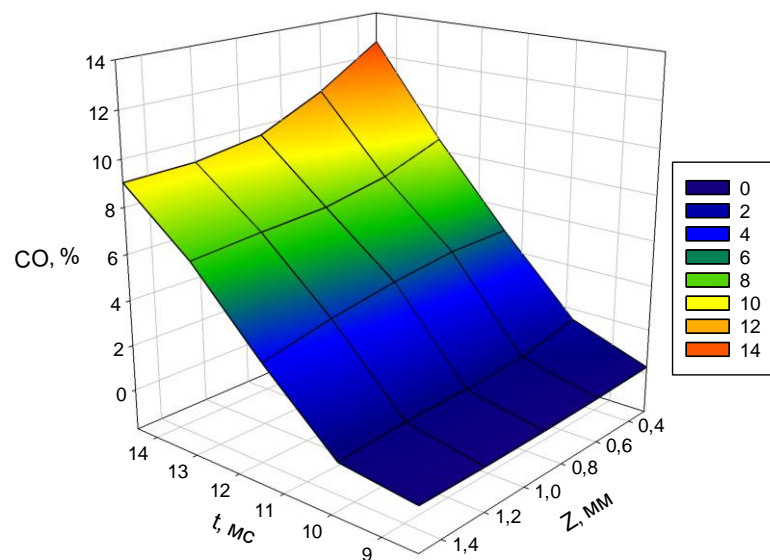


Рисунок 3 – Зависимость CO, % от варьируемых величин: зазора свечи зажигания Z, мм и длительности впрыска t, мс (при работе на одном работающем цилиндре и фиксированном положении дросселя, соответствующем его открытию на 20%)

Как видно из анализируемого графика (рисунок 3), прослеживается очень значимая связь CO с варьируемой длительностью впрыска. Причем обогащение ТВС приводит к росту CO выше 12%, а обеднение к его уменьшению до значения, близкого к 0%, показывая следы наличия данного компонента. Влияние параметра Z не так однозначно. В зоне богатых ТВС, прослеживается существенное увеличение CO при уменьшении Z с 1,5 мм до 0,3 мм. Это объясняется тем, что богатую или сверхбогатую ТВС гораздо сложнее воспламенить, нежели обедненную. Соответственно, в экспериментальной работе следует расширить границы изменения ТВС до предела работоспособности в сторону обогащения.

Представленная на рисунке 3 взаимосвязь описывается уравнением регрессии (при $R^2=0,96\%$):

$$CO = -10,521 + 1,011 \cdot t - 0,051 \cdot Z + 0,025 \cdot t^2 - 0,25 \cdot Z^2, \quad (1)$$

Рассмотрим результаты экспериментального контроля параметра СН, млн^{-1} при тех же условиях нагружения (рисунок 4).

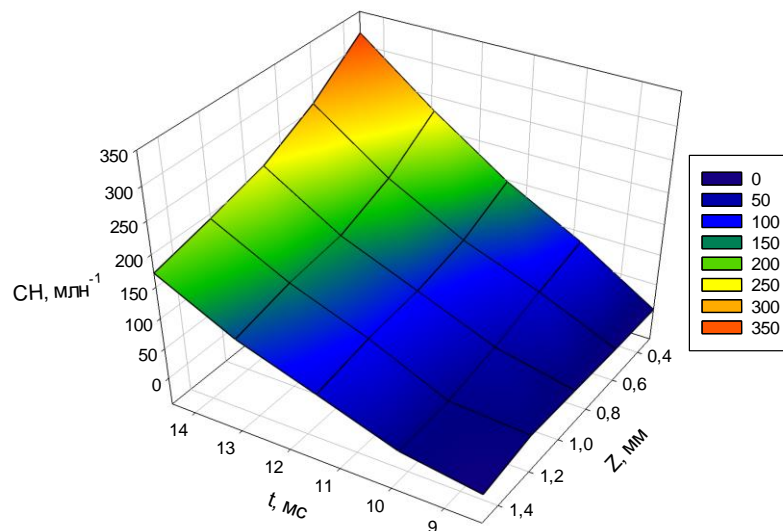


Рисунок 4 – Зависимость CH , млн⁻¹ от варьируемых величин: зазора свечи зажигания Z , мм и длительности впрыска t , мс (при работе на одном работающем цилиндре и фиксированном положении дросселя, соответствующем его открытию на 20%)

Анализ графической зависимости на рисунке 4 позволяет сделать заключение, что существенно значимая связь параметра CH обнаруживается с варьированием величины длительности впрыска. Любые отклонения качества или количества впрыскиваемого топлива значительно влияют на параметр CH . В тот же момент, степень влияния Z на CH также, как и с параметром CO очень избирательно. Так в зоне богатых смесей (при $t=14$ мс) варьирование Z вызывает наибольший прирост CH . Значение CH в этой зоне изменяется от 170 до 320 млн⁻¹. Это говорит о высокой взаимосвязи CH с Z при наличии сверхбогатых ТВС. Данный факт необходимо учесть в дальнейшей экспериментальной работе при уточнении уровней варьирования параметров.

Представленная на рисунке 4 взаимосвязь описывается уравнением регрессии (при $R^2=0,94$ %):

$$CH = -141,642 + 19,648 \cdot t - 105,403 \cdot Z + 0,621 \cdot t^2 + 31,736 \cdot Z^2, \quad (2)$$

Проведенные экспериментальные исследования показывают только предварительную картину. В дальнейшей работе будут расширены границы варьирования рабочих параметров и режимов открытия дроссельной заслонки. При варьировании положения дросселя с 20 до 100% значительно изменяются пределы возможного изменения длительности впрыска.

Выводы. Проведенные исследования показали на необходимость разработки нового чувствительного метода диагностирования систем топливоподачи и зажигания. Предлагается тестовый метод диагностирования, основанный на отключении отдельных цилиндров и рабочих циклов, при варьировании длительности впрыска. Подготовлен лабораторный стенд и рабочее оборудование для эксперимента. Проведен пробный эксперимент и установлена значительная связь параметров CO и CH с изменением длительности впрыска. Влияние изменения зазора свечи зажигания

прослеживается в зоне переобогащенных ТВС. В последующей экспериментальной работе необходимо расширить диапазоны варьируемых параметров и проработать методику процесса диагностирования.

Список литературы:

1. Производственный потенциал сельского хозяйства: этапы развития, состояние, проблемы модернизации / А. М. Плаксин, А. В. Гриценко, М. В. Запевалов, Н. В. Костюченков. – Челябинск: Южно-Уральский государственный аграрный университет, 2018. – 292 с. – ISBN 978-5-88156-798-9. – EDN XWKBRJ.
2. Формирование инвестиционного механизма в сфере технического сервиса в сельском хозяйстве / В. И. Черноиванов, В. П. Лялякин, Л. А. Солодкина [и др.]. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка Россельхозакадемии, 2013. – 298 с. – ISBN 978-5-98231-012-5. – EDN RYTETV.
3. Патент № 2418190 С2 Российская Федерация, МПК F02M 65/00. Способ диагностирования системы топливоподачи двигателя: № 2009123798/06: заявл. 22.06.2009: опубл. 10.05.2011 / С. С. Куков, Д. Д. Бакайкин, А. В. Гриценко; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Челябинский государственный агроинженерный университет". – EDN SHGTSL.
4. Test diagnostics of engine systems in passenger cars / A. Gritsenko, V. Shepelev, E. Zadorozhnaya, K. Shubenkova // FME Transactions. – 2020. – Vol. 48, No. 1. – P. 46-52. – DOI 10.5937/fmet2001046G. – EDN SGRUWJ.
5. Гриценко, А. В. Результаты экспериментальных исследований пропускной способности электромагнитных форсунок / А. В. Гриценко, Д. Д. Бакайкин // Вестник КрасГАУ. – 2012. – № 12(75). – С. 120-127. – EDN PNFQWX.
6. Власов, Д. Б. Диагностирование электрических насосов автомобилей / Д. Б. Власов, А. В. Гриценко // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2015. – Т. 3, № 4-1(15-1). – С. 176-180. – DOI 10.12737/13917. – EDN SWFGKN.
7. Gritsenko, A. V. A study of the environmental qualities of diesel engines and their efficiency when a portion of their cylinders are deactivated in small-load modes / A. V. Gritsenko, K. V. Glemba, A. A. Petelin // Journal of King Saud University. Engineering Sciences. – 2021. – Vol. 33, No. 1. – P. 70-79. – DOI 10.1016/j.jksues.2019.12.001. – EDN FICNSG.
8. Технология и методы диагностирования топливных насосов: учебное пособие / А. М. Плаксин, А. В. Гриценко, А. В. Старунов [и др.]. – Челябинск: ЮУрГАУ, 2022. – 100 с. – ISBN 978-5-88156-898-6.
9. Индивидуальный газоанализ и его особенности при тестовом диагностировании / А. В. Гриценко, Г. Н. Салимоненко, И. Х. Гималтдинов [и др.] // АПК России. – 2021. – Т. 28, № 1. – С. 28-38. – EDN BVAPDV.

10. Методы снижения токсичности и экологичность современных автомобилей / Н. Н. Русакова, В. Е. Уланов, А. В. Гриценко, И. Х. Гималтдинов // Научное сопровождение технологий агропромышленного комплекса: теория, практика, инновации: Научные труды 2-ой Международной научно-практической конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора Ю.И. Матяшина, Казань, 24–25 марта 2022 года. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2022. – С. 285-291. – EDN BRNVAB.

11. Диагностирование электрических насосов по силе тока питания при сопротивлении в топливосистеме / К. В. Глемба, А. В. Гриценко, К. А. Цыганов, Д. Б. Власов // Евразийское Научное Объединение. – 2015. – Т. 1, № 11(11). – С. 16-18. – EDN VBYJXB.

12. Гриценко, А. В. Комплексное диагностирование электрического бензонасоса системы топливоподачи / А. В. Гриценко, Д. Б. Власов, А. М. Плаксин // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2016. – Т. 4, № 5-4(25-4). – С. 239-243. – EDN XAYBJH.

13. Environmental Control and Test Dynamic Control of the Engine Output Parameters / A. Gritsenko, V. Shepelev, G. Salimonenko [et al.] // FME Transactions. – 2020. – Vol. 48, No. 4. – P. 889-898. – DOI 10.5937/fme2004889G. – EDN YHIYOU.

14. Диагностирование электромагнитных форсунок по изменению качественного состава топливной смеси / А. М. Плаксин, А. В. Гриценко, К. В. Глемба [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11-11. – С. 2380-2384. – EDN TARFPD.

15. Гриценко, А. В. Диагностирование электрических бензонасосов системы питания автомобилей с микропроцессорной системой управления двигателем / А. В. Гриценко, К. А. Цыганов // Достижения науки - агропромышленному производству: ЛП Международная научно-техническая конференция, Челябинск, 24–26 января 2013 года. Том 3. – Челябинск: Челябинская государственная агроинженерная академия, 2013. – С. 49-55. – EDN UGVCMX.

16. Тестовое диагностирование электрических топливных насосов / А. В. Гриценко, К. И. Лукомский, Д. Б. Власов, К. В. Глемба // АПК России. – 2017. – Т. 24, № 5. – С. 1161-1167. – EDN ZXVRDP.

17. Патент № 2474805 С1 Российская Федерация, МПК G01M 15/04. Способ диагностирования выпускного тракта поршневых двигателей внутреннего сгорания : № 2011139288/06 : заявл. 26.09.2011 : опубл. 10.02.2013 / С. С. Куков, А. В. Гриценко, К. А. Цыганов, А. В. Горбунов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Челябинская государственная агроинженерная академия". – EDN XNXMZХ.

18. Forecasting the Passage Time of the Queue of Highly Automated Vehicles Based on Neural Networks in the Services of Cooperative Intelligent Transport Systems / V. Shepelev, S. Aliukov, S. Zhankaziev [et al.] // Mathematics. – 2022. – Vol. 10, No. 2. – P. 282. – DOI 10.3390/math10020282. – EDN RGEZLG.

19. The Role of Reverse Logistics in the Transition to a Circular Economy: Case Study of Automotive Spare Parts Logistics / I. Makarova, K. Shubenkova, P. Buyvol [et al.] // FME Transactions. – 2021. – Vol. 49, No. 1. – P. 173-185. – DOI 10.5937/FME2101173M. – EDN PXKYDE.

20. Methodical Framework for Evaluating the Level of the Carrying Capacity of Transport Systems in View of the Irregularity of Cargo Flows / Z. Almetova, V. Shepelev, E. Shepeleva [et al.] // Transportation Research Procedia, Padova, 07–09 марта 2018 года. – Padova, 2018. – P. 226-235. – DOI 10.1016/j.trpro.2018.09.025. – EDN MBAUBF.

21. Снижение токсичности отработавших газов дизельного двигателя путем отключения части его цилиндров / В. Н. Кожанов, А. А. Петелин, А. В. Гриценко, В. Д. Шепелев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2018. – Т. 18, № 2. – С. 34-44. – DOI 10.14529/engin180204. – EDN XREQWL.

22. Гриценко, А. В. Исследование режимов работы электрических бензиновых насосов автомобилей при искусственном формировании гидравлического сопротивления / А. В. Гриценко, К. В. Глемба, О. Н. Ларин // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2016. – № 2(30). – С. 47-55. – DOI 10.20291/2079-0392-2016-2-47-55. – EDN WBWUAJ.

23. Gritsenko, A. V. Diagnostics of the fuel supply system of auto ICEs by the test method / A. V. Gritsenko, V. D. Shepelev, I. V. Makarova // Journal of King Saud University. Engineering Sciences. – 2021. – DOI 10.1016/j.jksues.2021.03.008. – EDN RXLLVJ.

24. Makarova, I. Improvement of environmental compliance of Urban transport system through enlarging fleet of gas-engine municipal machinery / I. Makarova, L. Gabsalikhova, A. Gritsenko // Transportation Research Procedia : 14, Saint Petersburg, 21–24 октября 2020 года. – Saint Petersburg, 2020. – P. 405-413. – DOI 10.1016/j.trpro.2020.10.048. – EDN DUUXKW.

25. Разработка методов и средств диагностирования элементов топливной системы бензиновых ДВС / А. В. Гриценко, К. В. Глемба, О. Н. Ларин [и др.] // Контроль. Диагностика. – 2015. – № 3. – С. 62-67. – DOI 10.14489/td.2015.03.pp.062-067. – EDN TKLAJF.