

УДК 621.43

МЕТОДИКА ТЕСТОВОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ, ВЫБОР РЕЖИМОВ И АНАЛИЗ ДАННЫХ

Бурцев А.Ю.¹, Скорик Н.А.², Баклагин Е.В.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 рассматриваются вопросы диагностирования систем зажигания и топливоподачи. Установлено, что отказы этих двух систем составляют до 60% от всех отказов двигателя. Предложен тестовый метод контроля систем зажигания и топливоподачи по изменению частоты вращения коленчатого вала двигателя и оксида кислорода в отработавших газах. В качестве диагностических режимов обоснованы – варьирование длительностью впрыска от минимального до максимально возможного значений, при постоянном положении дросселя на одном работающем цилиндре.

Ключевые слова: двигатель, система зажигания, система топливоподачи, режимы, параметры, контроль, износ, анализ.

Актуальность исследования. Современные автомобили непрерывно совершенствуются с целью минимизации расхода топлива и параметров токсичности отработавших газов [1, 2, 3]. В первую очередь активно изменяются системы, которые делают больший вклад в соблюдение норм выбросов [4, 5, 6]. Конечно к ним относятся системы зажигания и топливоподачи [7, 8, 9]. Вместе с тем, осложнилось применение существующих средств диагностирования [10, 11, 12]. На первое место выходят встроенные методы диагностирования, нередко реализованные на базе электронного блока управления двигателем [13, 14, 15]. Однако, одними встроенными возможностями, как показывает практика эксплуатации, не обойтись [16, 17, 18]. Чаще применяются комбинации методов и средств диагностирования [19, 20, 21]. Основой современного диагностирования являются тестовые методы, реализованные в комбинации с мотор-тестерами, осциллографами, сканерами, газоанализаторами и др. [22, 23]. С учетом сказанного, **целью исследования** является разработка комбинированного тестового метода диагностирования на основе анализа изменения частоты вращения коленчатого вала двигателя и оксида кислорода, а также выбор режимов.

Материалы и методы. Сложность разработки тестового метода диагностирования затрудняется выбором диагностических параметров и режимов [24, 25]. Так, если первичные диагностические параметры для контроля системы приняты, то их применимость в первую очередь определяется выбранными режимами и эффективностью оценки на этих режимах. В нашем случае предлагается оценивать техническое состояние систем топливоподачи и зажигания по двум параметрам: изменению частоты вращения коленчатого вала ДВС и оксиду кислорода O_2 . Что касается параметра O_2 , то он резко возрастает при смещении коэффициента избытка воздуха в сторону бедных и сверхбедных смесей (рисунок 1).

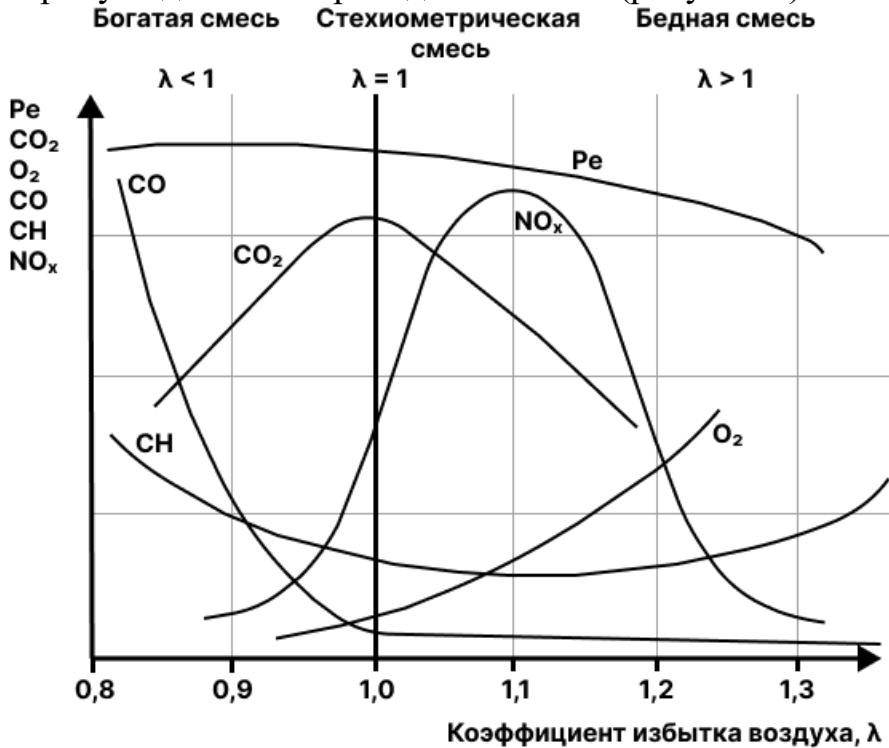


Рисунок 1 – Зависимость концентрации основных компонентов отработавших газов, а также O_2 от коэффициента избытка воздуха

Как видно из рисунка 1, обогащение или обеднение топливно-воздушной смеси (ТВС) значительно влияет на концентрацию большинства канцерогенных компонентов отработавших газов. Как правило, обогащение ТВС приводит к росту частоты вращения коленчатого вала ДВС, обеднение ТВС – наоборот. Однако, выбрать чувствительный режим очень сложно. Рассмотрим схему различных методик формирования нагружочного режима (рисунок 2).

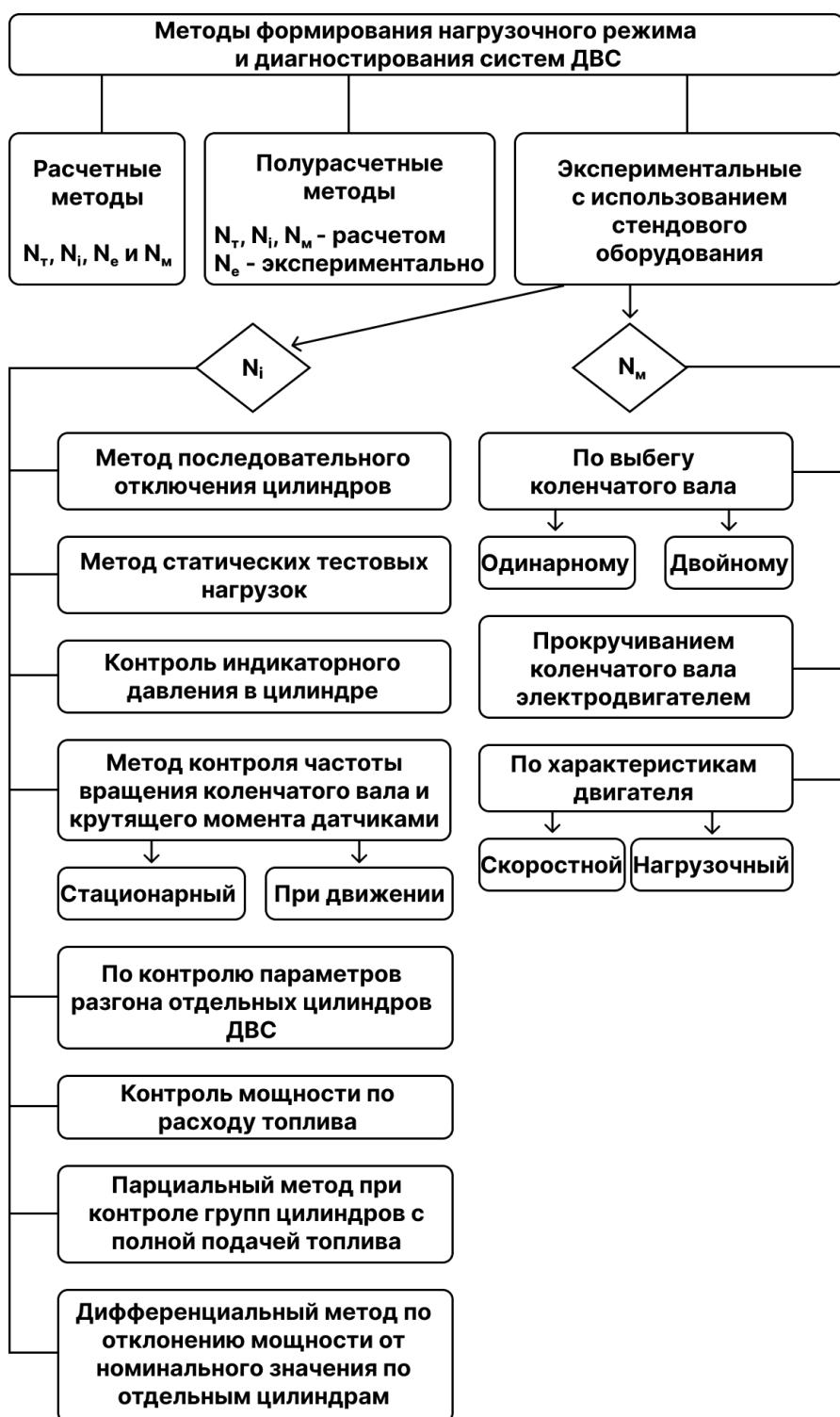


Рисунок 2 – Схема различных методик формирования нагрузочного режима

На рисунке 2 представлено большое разнообразие методов нагружения. Из всех методов наименьших затрат требует метод тестовых статических нагрузок, который принят в качестве основного при обеспечении режимов. К нему дополнительно добавляется вариант варьирования длительности впрыска при фиксированном положении дроссельной заслонки. Из теории и практики процесса диагностирования известно, что двигатель при различных положениях дросселя имеет свой ограниченный интервал длительностей впрыска. Эти значения минимума и максимума необходимо установить

экспериментально. После чего при различных технических состояниях элементов систем топливоподачи и зажигания проверить отклонения длительности впрыска.

Проверим экспериментально, как изменяется частота вращения коленчатого вала двигателя при эталонной производительности электромагнитной форсунки и значительном изменении зазора в свече зажигания (рисунок 3).

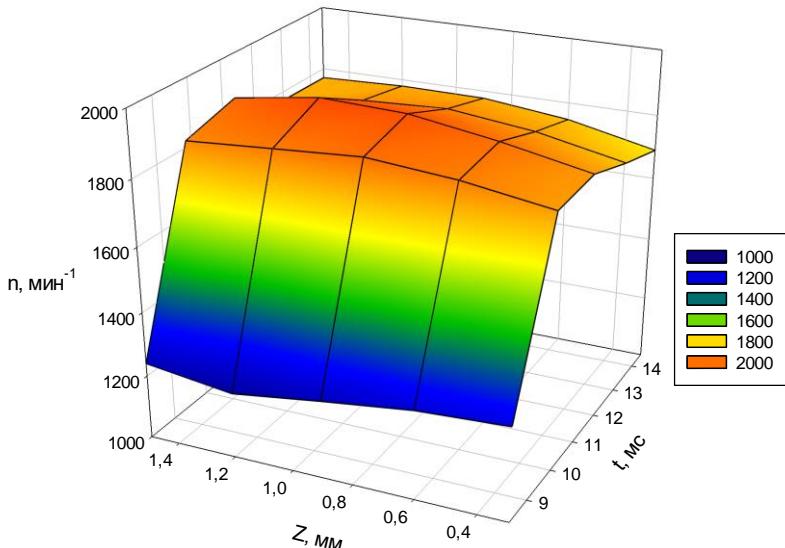


Рисунок 3 – Зависимость параметра n , мин^{-1} от зазора свечи зажигания Z , мм и длительности впрыска (эталонной форсунки) t , мс (при фиксированном положении дросселя, открытого на 20%)

Анализ результатов эксперимента на рисунке 3 показывает на наличие линии перегиба, следовательно, у эталонного двигателя имеется некоторый оптимум значения частоты вращения коленчатого вала ДВС, который можно взять в качестве базового. При текущем значении длительности впрыска можно точно определить, сколько реально топлива попадает в камеру сгорания. Чаще всего, форсунки при длительной эксплуатации при заданном значении длительности впрыска, подают совсем не то количество топлива, или больше, или меньше эталонного значения. С этим связана ошибка оценки реального расхода топлива в эксплуатации.

Как видно из рисунка 3, зазор свечи зажигания мало влияет на изменение выходного показателя n . Регрессионный анализ позволил получить уравнение, описывающее изменение параметра n (при $R^2=0,9$, %):

$$n = -4338,295 + 1040,442 \cdot t + 127,406 \cdot Z - 43,625 \cdot t^2 - 54,355 \cdot Z^2, \quad (1)$$

где t – длительность впрыска (при фиксированном положении дросселя, открытого на 20%), мс; Z – варьируемое значение зазора свечи зажигания, мм.

Проверим экспериментально, как изменяется O_2 , % при эталонной производительности электромагнитной форсунки и значительном изменении зазора в свече зажигания (рисунок 4).

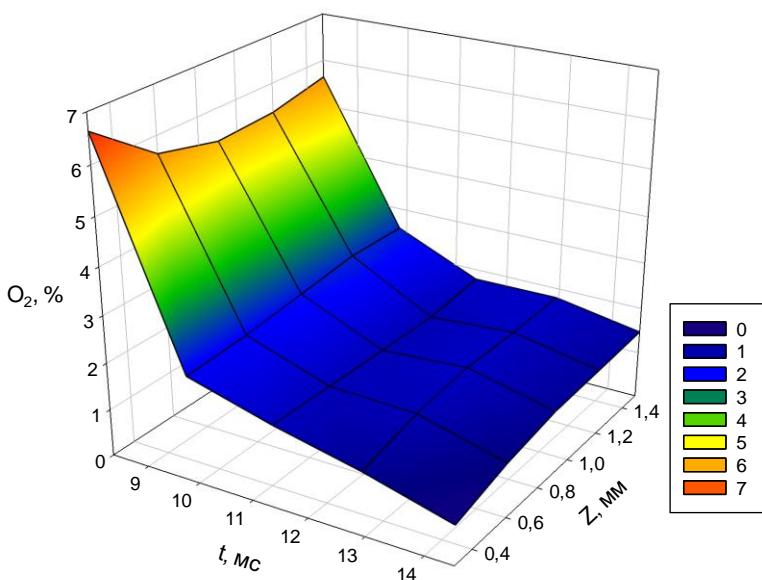


Рисунок 4 – Зависимость параметра O_2 , % от зазора свечи зажигания Z , мм и длительности впрыска (эталонной форсунки) t , мс (при фиксированном положении дросселя, открытого на 20%)

Как видно из рисунка 4 значительные количественные величины параметра O_2 наблюдаются при малых длительностях впрыска. Это объясняется недостатком топлива для качественного процесса сгорания. При увеличении t более 10 мс, происходит резкое снижение концентрации O_2 . При дальнейшем обогащении ТВС, значение O_2 варьирует в пределах от 1 до 2%.

Как видно из рисунка 4, в отличии от длительности впрыска, зазор свечи зажигания мало влияет на изменение выходного показателя O_2 . Регрессионный анализ позволил получить уравнение, описывающее изменение параметра O_2 (при $R^2=0,91$, %):

$$O_2 = 34,389 - 5,308 \cdot t + 0,556 \cdot Z + 0,210 \cdot t^2 - 0,243 \cdot Z^2, \quad (2)$$

Используя уравнения (1 и 2) можно определить величину выходного параметра при варьировании входных величин (в пределах их исходного изменения). Дальнейшая работа будет состоять в моделировании различных технических состояний топливной системы и системы зажигания, а определении искомых взаимосвязей.

Выводы. Проведенный анализ позволил установить высокий процент отказов систем зажигания и топливоподачи, который составляет до 60% всех отказов двигателя. Разработан и предложен новый тестовый метод контроля технического состояния двух систем по параметрам n и O_2 . Пробные эксперименты позволили установить закономерности изменения величин n и O_2 при варьировании входных параметров. Получены уравнения регрессии с достоверностью не менее 0,9 описывающие искомые взаимосвязи. В дальнейшей научной работе будут проведены углубленные эксперименты с варьированием технического состояния форсунок и свечей зажигания.

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 агротехнический университет". – EDN SHGTSI.
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 SGUWJ.
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: ЛII 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. Куров, А. В. Гриценко, К. А. Цыганов, А. В. Горбунов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Челябинская государственная агроинженерная академия". – EDN XNXMZX.

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.