

УДК 621.43

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТОПЛИВНЫХ СИСТЕМ

Угненко И.А.¹, Битюков М.В.², Бурцев А.Ю.³

¹аспирант кафедры «Технический сервис машин, оборудования и безопасности жизнедеятельности», ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет» (ЮУрГАУ), г. Челябинск.

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

³к.т.н., доцент кафедры «Горного дела и техносферной безопасности» филиала Кузбасского государственного технического университета им. Т.Ф. Горбачева, г. Белово.

Аннотация. В статье раскрываются особенности контроля системы топливоподачи современных автотракторных средств. Установлено, что при изменении технического состояния системы питания, значительно ухудшаются характеристики разгона-выбега отдельных цилиндров двигателя. Предлагается метод контроля системы питания, основанный на ее диагностировании по параметрам разгона-выбега. Эффект заключается в точном определении технического состояния системы питания и прогнозировании ресурса.

Ключевые слова: двигатель, система питания, форсунка, впрыск топлива, контроль, длительность впрыска, тестовый режим.

Актуальность исследования. Современное автотракторное средство в сельском хозяйстве должно обладать повышенной надежностью [1, 2, 3]. В этой связи, проводится большое количество исследований, как теоретической, так и практической направленности [4, 5, 6]. Известно большое количество дополнительных узлов и систем, созданных с целью обеспечения высокой безотказности [7, 8, 9]. Система топливоподачи является одной из самых сложных систем двигателя и значительно модернизированных за последние годы [10, 11, 12]. Так, появились системы Common Rail и непосредственный впрыск [13, 14, 15]. Давление впрыска увеличилось до 400 МПа при минимизации времени впрыска, оцениваемого в мкс [16, 17, 18]. Вместе с тем, значительно увеличились требования к герметичности и прецизионности топливных систем [19, 20]. Но, при этом повысилась чувствительность элементов топливной системы двигателя к качественным характеристикам воздуха, топлива и масла [21, 22]. В связи с чем, при несоблюдении соответствия качественных характеристик, возможны интенсивные отказы элементов топливной системы [23]. Для контроля топливной системы предлагается активный тестовый метод контроля динамических параметров разгона-выбега, который позволит с высокой чувствительностью обнаруживать зреющие отказы [24, 25]. Следовательно, **целью исследований**

является обоснование и разработка тестового метода контроля топливных систем современных автотракторных средств.

Материалы и методы. Рассмотрим процесс разгона отдельных цилиндров двигателя с учетом влияния различных факторов (по исследованиям Вертея М.Л.). Для чего приведем график зависимости времени разгона при различных вариантах его реализации (рисунок 1).

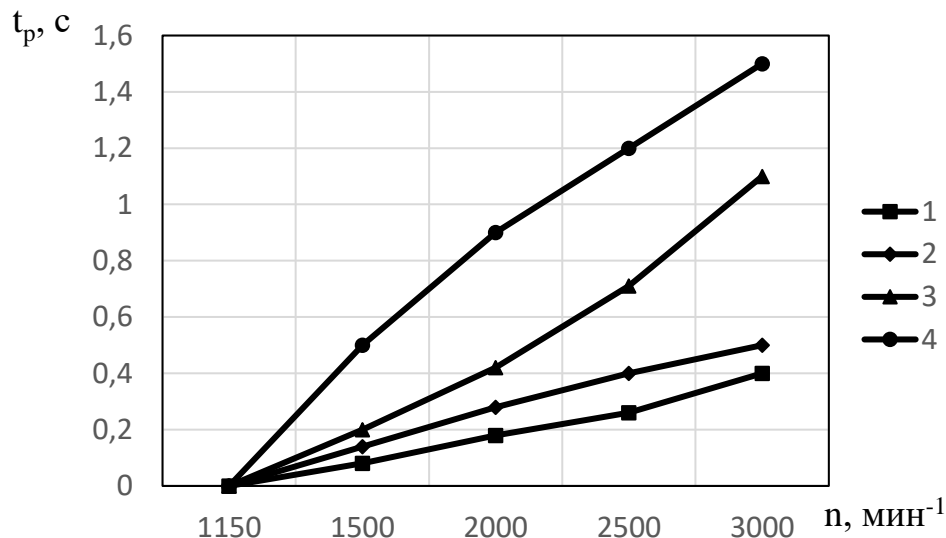


Рисунок 1 – График зависимости времени разгона при различных вариантах его реализации: 1 – производится открытие дросселя (пропускная способность форсунки соответствует – $Q=6$ л/ч), 2 – при фиксированном положении дросселя (при $Q=6$ л/ч); 3 – производится открытие дросселя (при $Q=5$ л/ч), 4 – при фиксированном положении дросселя (при $Q=5$ л/ч)

В данном случае (рисунок 1) видно, что изменение условий разгона приводит к варьированию временных параметров процесса разгона. Так самый длительный во времени разгон наблюдается при фиксированном положении дросселя и при $Q=5$ л/ч. Конечная точка, соответствующая 3000 мин⁻¹ была достигнута за $1,5$ с. В тот же момент, при открытии дросселя (при $Q=6$ л/ч), время разгона составило – $0,4$ с. Т.е. прибавка топливоподачи отражается на значительном сокращении времени разгона до той же самой точки по числу оборотов двигателя. Причем этот параметр очень чувствителен к малым количественным изменениям топливоподачи. Этот факт следует использовать при контроле топливной системы в процессе эксплуатации.

Для качественной и количественной оценки нами были проведены экспериментальные исследования, направленные на определение взаимосвязи параметров разгона от технического состояния системы питания (рисунок 2).

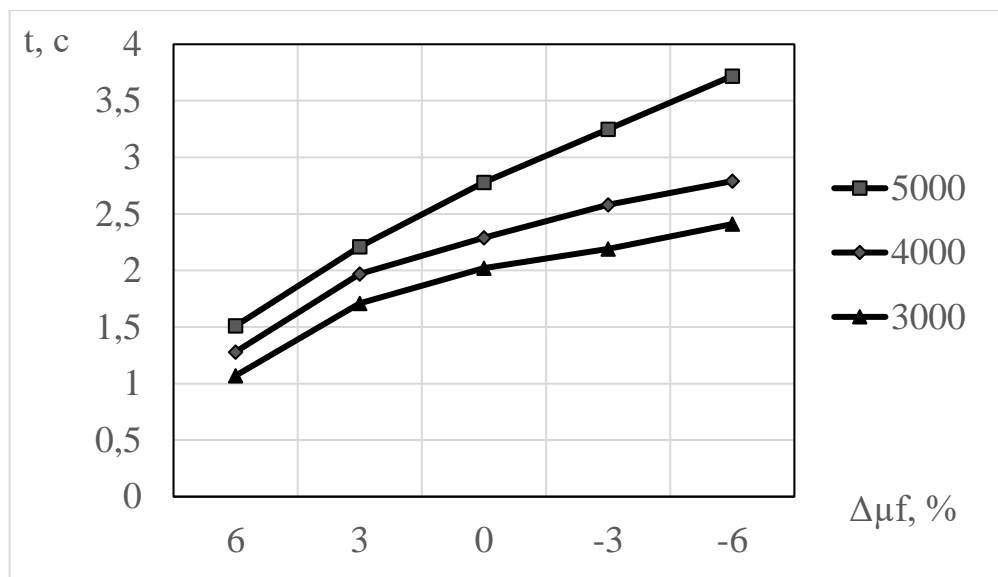


Рисунок 2 – Взаимосвязь параметров разгона t , с от технического состояния системы питания (пропускной способности электромагнитной форсунки $\Delta\mu_f$, %, отсчитываемой от эталонной величины)

Как видно из рисунка 2, разгонные характеристики заметно ускоряются с увеличением пропускной способности электромагнитной форсунки. При этом, в камеру сгорания поступает дополнительное количество топлива к постоянному значению порции воздуха. Рабочий процесс в этом случае характеризуется большим количеством энергии и несколько большей работой цикла, что выражается в уменьшении времени разгона коленчатого вала двигателя до заданной величины оборотов. Как видно из рисунка 2, в случае, когда электромагнитная форсунка впрыскивает на +6% больше топлива, мы наблюдаем самое меньшее значение времени разгона. Так, время разгона до 3000 мин⁻¹ составляет - 1,07 с. Чем больше исходная частота вращения двигателя до которой происходит разгон, тем больше величина времени разгона. Так разгон коленчатого вала двигателя до 5000 мин⁻¹ происходит за 1,51 с. В тот же момент снижая пропускную способность, будет наблюдаться увеличение времени разгона. Так при эталонном техническом состоянии электромагнитной форсунки, время разгона составляет 2,02, 2,29 и 2,78 с соответственно для конечной частоты вращения коленчатого вала двигателя 3000, 4000 и 5000 мин⁻¹. Уменьшая пропускную способность электромагнитной форсунки еще ниже (на -6%), наблюдается еще большее увеличение времени разгона коленчатого вала двигателя. Так время разгона составляет 2,41, 2,79 и 3,72 с для пиковых значений частоты вращения коленчатого вала двигателя 3000, 4000 и 5000 мин⁻¹. Зная значения времени разгона при эталонной пропускной способности электромагнитных форсунок, и оценивая его изменения в процессе эксплуатации, можно оценить реальное техническое состояние системы топливоподачи и электромагнитных форсунок в частности.

Выводы. Анализ современного состояния в области конструктивного совершенствования систем топливоподачи показывает на значительный

прогресс. Так появились прецизионные системы Common Rail и точечный впрыск, которые заметно улучшили эффективность работы двигателей. Однако, сложность элементов системы топливоподачи и их прецизионность создают проблему, заключающуюся в постоянном качественном соответствии топлива, смазок и поступающего воздуха. Любое их отклонение от нормы приводит к резкому снижению ресурса топливных систем. В этой связи, предлагается непрерывный контроль технического состояния топливной системы, путем диагностирования двигателя по характеристикам разгона-выбега. Проведенные исследования показали, что с увеличением пропускной способности электромагнитных форсунок, время разгона резко уменьшается. И наоборот, при уменьшении пропускной способности электромагнитных форсунок, время разгона увеличивается. Реализуя в эксплуатации тестовый контроль параметров разгона-выбега, можно точно определять техническое состояние топливных систем, и вовремя назначать ремонтно-восстановительные работы по устранению неисправностей топливной системы.

Список литературы:

1. Производственный потенциал сельского хозяйства: этапы развития, состояние, проблемы модернизации / А. М. Плаксин, А. В. Гриценко, М. В. Запечалов, 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 F02М 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 YNIYOU.

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 G01М 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 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 WBWUAI.

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.