

УДК 621.43 4

КОНТРОЛЬ ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИИ

Караулов А.В.¹, Бурцев А.Ю.², Чокоей С.А.³

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

²к.т.н., доцент кафедры «Горного дела и техносферной безопасности» филиала Кузбасского государственного технического университета им. Т.Ф. Горбачева, г. Белово.

³аспирант кафедры «Технический сервис машин, оборудования и безопасности жизнедеятельности», ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет» (ЮУрГАУ), г. Челябинск.

Аннотация. В статье рассматриваются особенности контроля технического состояния цилиндропоршневой группы двигателя внутреннего сгорания. Проведен анализ существующих методов и средств диагностирования. Выявлены преимущества и недостатки существующих методов и средств диагностирования. Предложен динамический метод контроля мгновенной величины давления в цилиндре двигателя при прокрутке на сверхмалых частотах вращения коленчатого вала двигателя.

Ключевые слова: двигатель, цилиндропоршневая группа, давление, утечка воздуха, контроль, износ, прокрутка, анализ.

Актуальность исследования. Современный двигатель внутреннего сгорания является очень надежным агрегатом [1, 2, 3]. Большинство лучших двигателей имеют ресурс более 1 млн. км [4, 5, 6]. Разрабатываются все более сложные и надежные конструкции систем двигателя [7, 8, 9]. Новые разработки затрудняют или полностью исключают возможность использования существующих методик контроля технического состояния [10, 11, 12]. Так, например, наиболее известный метод оценки степени износа цилиндропоршневой группы (ЦПГ) по компрессии в большинстве современных ДВС не применим из-за сложности доступа к свечному отверстию или отверстию форсунки [13, 14, 15]. Сложности создают комбинированные рампы катушек зажигания, когда невозможно вытащить из рампы одну катушку и поставить вместо нее компрессометр [16, 17, 18]. Изъятие для этих целей форсунок, требует замены уплотнений [19, 20, 21]. Все эти вопросы требуют внимания при разработке методик и алгоритмов диагностирования ЦПГ [22, 23]. С учетом сказанного, **целью исследования** является разработка нового метода контроля цилиндропоршневой группы и методических приемов анализа информации.

Материалы и методы. Современный двигатель является очень сложным объектом многопараметрического контроля [24, 25]. Так, если рассмотреть взаимосвязь технического состояния ЦПГ с другими системами, то можно изобразить схему в виде рисунка 1.

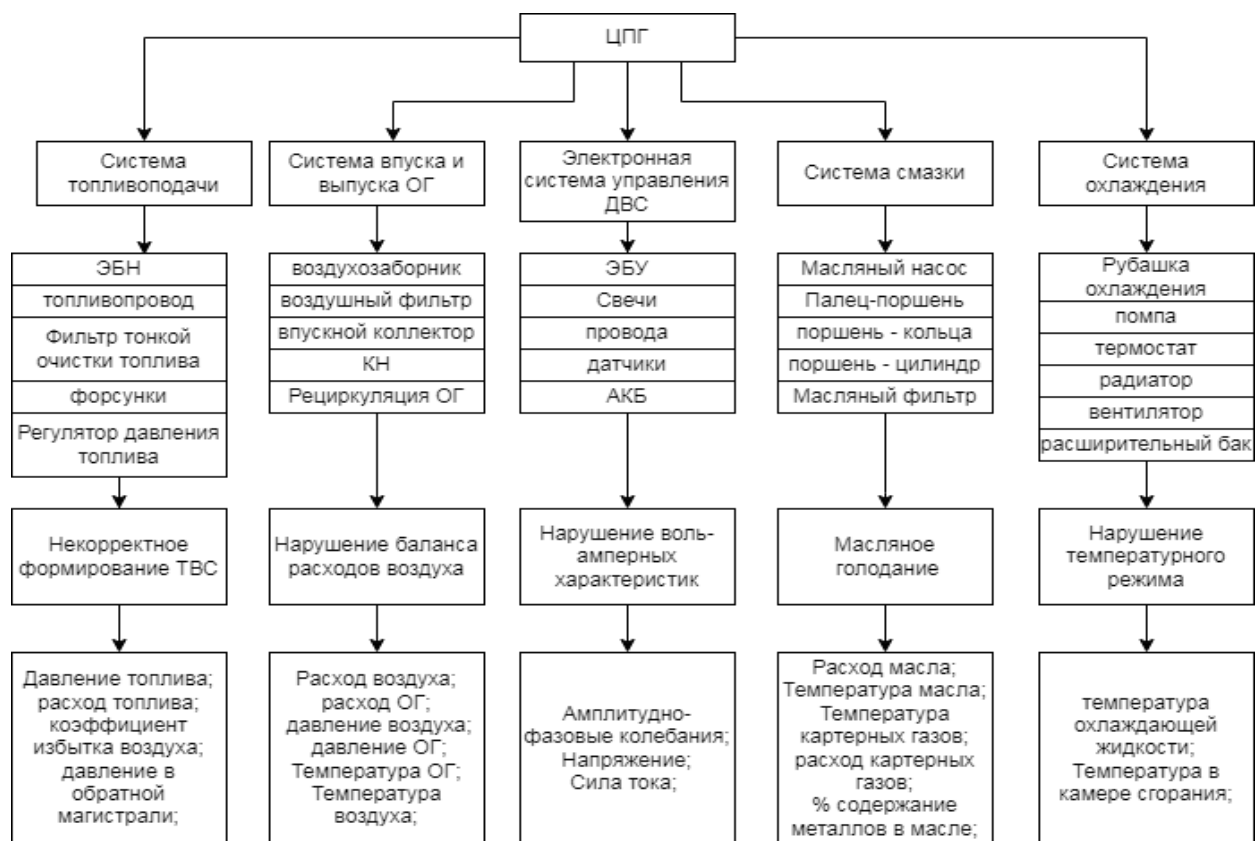


Рисунок 1 – Схема взаимосвязи технического состояния ЦПГ с другими системами

Как видно из рисунка 1, ЦПГ косвенно или напрямую связана с системами: топливоподачи, впуска и выпуска, управления ДВС, смазки и охлаждения. Разберем каждую из систем в отдельности (рисунок 1). Так система топливоподачи содержит электробензонасос (ЭБН), топливopроводы, фильтры тонкой и грубой очистки, форсунки, регулятор давления. От герметичности ЦПГ зависит какая часть впрыснутого топлива будет использована. В случае значительных износов ЦПГ, до 20...30% топлива может быть потеряно через неплотности. При впрыске топлива возможно некорректное формирование топливно-воздушной смеси (ТВС). Основными выходными параметрами для контроля правильности работы системы топливоподачи являются: давление и подача (расход) топлива, коэффициент избытка воздуха, количество топлива, идущего в обратную магистраль топливоподачи. При всех корректных значениях выходных параметров топливоподачи, негерметичность ЦПГ может приводить к серьезным сбоям в работе ДВС и наоборот.

Системы впуска и выпуска (рисунок 1) имеют следующие компоненты: воздухозаборник (циклон), воздушный фильтр, датчик массового расхода воздуха, дроссельный узел, впускной коллектор, выпускной коллектор, каталитический нейтрализатор, λ -зонд, резонатор, глушитель, систему рециркуляции отработавших газов (ОГ). От сопротивления систем впуска и выпуска зависит количество свежего заряда, поступающего в цилиндр. В случае, когда в одной из систем наблюдается повышенное сопротивление,

наблюдается нарушение баланса расходов. В любом случае важно контролировать ряд выходных параметров для оценки правильности работы систем впуска и выпуска: расход воздуха на впуске, расход ОГ на выпуске, давление и противодавление воздуха и ОГ, температуру воздуха и ОГ. Износ ЦПГ может вызывать заметные отклонения величин выходных параметров.

Электронная система управления ДВС (ЭСУД) включает в себя: электронный блок управления, систему зажигания со всеми элементами, многочисленными датчиками, аккумулятор, стартер и др. В сегодняшнем варианте ЭСУД тесно связана с элементами электрооборудования, системой зажигания, цифровыми панелями и др. В случае значительных износов ЦПГ, ЭСУД может вносить значительные изменения в алгоритмы управления системами ДВС для компенсации и адаптации. При отказах в ЭСУД в основном наблюдаются некорректные изменения отдельных параметров, таких как электрические сопротивление, ток и напряжение, искажение или полное отсутствие их мгновенных значений. При значительных износах ЦПГ, ЭСУД может существенно изменять угол опережения зажигания, фазовые параметры процессов топливоподачи и зажигания и др.

Любые изменения рабочих параметров системы смазки и охлаждения незамедлительно сказываются на ЦПГ. На рисунке 1 показано большое количество компонентов данных систем. В случае их отказа или появлении неисправностей, возникают масляное голодание и перегрев узлов, в том числе и ЦПГ. Существует большое количество встроенных параметров, которые в случае появления отказов, высвечиваются в виде кодов неисправностей на панели управления. ЭСУД может полностью остановить работу ДВС при аварийных отказах систем смазки и охлаждения.

Рассмотренные взаимосвязи имеют существенное значение при управлении работой различных систем ДВС, их коррекцией и управлением. Возникает необходимость в разработке нового метода контроля ЦПГ, учитывающего эти сложные взаимосвязи.

Для возможности разработки нового метода диагностирования ЦПГ двигателя требуется проведение анализа существующих методов и средств. Так на сегодня существует большое количество известных методов диагностирования ЦПГ. Наиболее распространенным методом является метод контроля компрессии в цилиндрах. Данный метод достаточно универсален, распространен, требует минимального времени подготовки. Однако, малочувствителен к износу ЦПГ, зависим от большого количества внешних и внутренних факторов. Так зарядка аккумулятора или техническое состояние стартера могут значительно повлиять на качественный результат.

В последнее время, в качестве альтернативы предлагается метод, основанный на контроле баланса мощностей отдельных цилиндров. Этот метод может быть реализован функцией штатного электронного блока управления (ЭБУ) при подсоединении к нему мотор-тестера. Однако, данный метод ограничен комплексным вкладом одного цилиндра и неизвестно какие неисправности сопровождают его работу, особенно когда возникает несколько неисправностей в наложении друг на друга. Следовательно, необходимо

разработать новый метод диагностирования, который будет учитывать вклад каждой неисправности в общее техническое состояние ЦПГ.

Известен метод контроля технического состояния ЦПГ по утечке воздуха через неплотности, реализуемый расходомером К-69М. Данный метод имеет существенные возможности для раскрытия множественных связей при формировании неисправностей цилиндра. Однако, имеет ряд недостатков, заключающихся в значительной трудоемкости, невозможности реализации при автоматической коробке передач, низкой универсальности метода.

В практике эксплуатации известен метод на основе контроля давления такта сжатия при прокрутке двигателя в режиме холостого хода и фиксации сигнала давления на осциллографе. Методика данного способа реализуется при помощи USB-Autoscope III и электронного цифрового осциллографа с диагностической программой. Однако при прокрутке ДВС в режиме холостого хода возникают слишком большие значения давления такта сжатия и утечки воздуха формируются в критическом режиме. В практике эксплуатации сложно различимы предельное состояние ЦПГ и любое промежуточное. Для повышения качества диагностирования данным методом, предлагается прокрутку коленчатого вала ДВС производить на сверхмалых скоростях 1...20 мин⁻¹. При таких скоростях прокрутки будет создано условие для докритического расхода воздуха через неплотности ЦПГ. Кроме того, размерность величины давления будет намного ниже и исключится условие динамического прироста величины давления, течение потока воздуха превратится из турбулентного в ламинарное. Таким образом, модернизация данного метода с коррекцией режима и методики оценки позволит производить достоверный контроль технического состояния ЦПГ в любой момент времени при эксплуатации ДВС.

Выводы. Проведенный анализ показал, что двигатель современного автотракторного средства является очень надежным узлом и имеет ресурс более 1 млн. км. Вместе с тем, погоня за экологическими стандартами и экономичностью привела к значительному изменению его систем. В свою очередь модернизированные системы требуют применения новых методов контроля, т.к. существующие стали неприменимы. С учетом сказанного, был проведен краткий анализ методов и выбран метод, основанный на контроле мгновенной величины давления в камере сгорания цилиндра при медленной прокрутке ДВС внешним устройством, которым может быть лебедка, электродвигатель и др. Разработана методика контроля герметичности ЦПГ, заключающаяся в осциллографическом контроле изменения давления в ЦПГ различных цилиндров и анализе полученных данных с учетом их синхронизации с положением коленчатого вала ДВС. Точный контроль ЦПГ позволяет с высокой достоверностью идентифицировать эпицентр формирования отказа. Результат заключается в уточнении диагноза и более достоверной оценке технического состояния отдельных цилиндров ДВС.

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 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 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.