

УДК 621.43.001.42

ВОПРОСЫ ДОСТОВЕРНОГО КОНТРОЛЯ ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ ДВС

Караулов А. В.¹, Барышников С. А.¹, Бурцев А. Ю.²

¹аспирант, ЮУрГАУ, г. Челябинск;

¹к.т.н., доцент, ЮУрГАУ, г. Челябинск;

²к.т.н., доцент, филиал КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева, г. Белово.

Аннотация: В материалах исследования приведен анализ результатов контроля величины давления в камере сгорания двигателя при прокрутке на малых скоростях вращения коленчатого вала двигателя ($5\ldots30 \text{ мин}^{-1}$). Представленный метод показал высокую универсальность применения для современных двигателей с низкой приспособленностью к контролю.

Ключевые слова: диагностирование, цилиндкопоршиневая группа, точность, чувствительность, достоверность, тестовый метод.

Abstract: The research materials present an analysis of the results of monitoring the pressure value in the engine combustion chamber during cranking at low engine crankshaft rotation speeds ($5\ldots30 \text{ min}^{-1}$). The presented method has shown high versatility of application for modern engines with low adaptability to monitoring.

Key words: diagnostics, cylinder-piston group, accuracy, sensitivity, reliability, test method.

Актуальность вопроса. Основой современной технической эксплуатации выступает система контроля технического состояния базовых узлов и систем ДВС [1, 2]. Например, современные ЦПГ имеют высокую надежность и обеспечивают безаварийные пробеги до 1 млн. км [3, 4, 5]. Но в рядовой эксплуатации нередко ресурс ДВС намного меньше заявленного для специфических эталонных условий [6, 7, 8]. Причиной снижения ресурса ДВС выступают многочисленные дестабилизирующие факторы [9, 10, 11]. Среди них можно выделить ряд основных: климатические условия, состояние окружающей среды, качество используемых материалов и запасных частей, обученность рабочего и обслуживающего персонала и многие другие [12, 13, 14]. Минимизировать эти факторы можно сверхнадежными системами или подходами при контроле технического состояния, когда ведется непрерывный контроль объектов и управление по результатам контроля [15, 16]. Непрерывный контроль технического состояния систем ДВС возможен при разработке новых методов и средств диагностирования [17, 18]. В частности, актуальна разработка универсальных методов с возможностью применения для всех автотракторных средств [19, 20]. Таким методом на наш взгляд является – контроль мгновенной величины давления в камере сгорания ДВС при прокрутке коленвала на малых скоростях внешним устройством [21, 22, 23]. Малые ско-

ности исключают высокую повреждаемость используемых датчиков давления [24, 25]. С учетом сказанного целью исследования является оценка параметров точности, чувствительности и достоверности при контроле цилиндропоршневой группы.

Методы и материалы. В качестве установки для проведения исследований был выбран двигатель ЗМЗ-4062. За основу взяты пять скоростных режимов прокрутки коленвала ДВС: 0,7, 1,9, 3,1, 4,3, 5,5 Гц. Для перевода из Гц в мин^{-1} , необходимо умножить на 4, в результате получится реальное значение скорости прокрутки в мин^{-1} . Контроль точек плана эксперимента осуществлялся путем перемешивания последовательностей (методика генератора случайных чисел).

Представим выборочные экспериментальные данные изменения мгновенной величины давления в камере сгорания от степени износа цилиндра ДВС для 5 значений варьирования частоты прокрутки коленчатого вала (привода стенда с частотным управлением) рисунок 1.

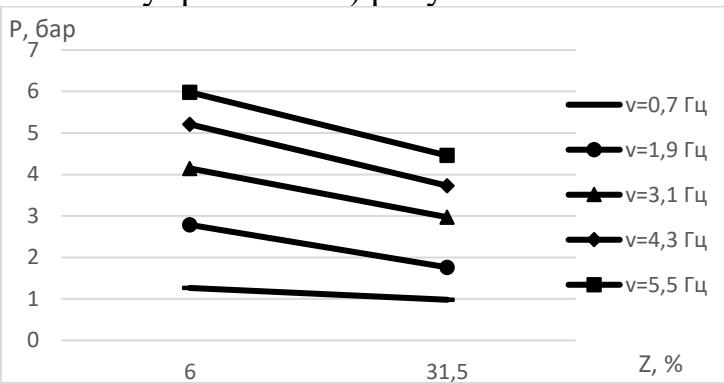


Рисунок 1 – График зависимости мгновенного давления в камере сгорания P , бар от степени износа цилиндра ДВС Z , %: при варьировании частоты прокрутки коленчатого вала (привода стендса с частотным управлением) $v=0,7$, $v=1,9$, $v=3,1$, $v=4,3$, $v=5,5 \text{ Гц}$

Анализ представленной на рисунке 1 зависимости показывает, что с ростом степени износа ЦПГ все 5 экспериментальных характеристик снижаются. Т.е. это указывает на тренд – падение мгновенной величины давления в камере сгорания с ростом степени износа ЦПГ. Однако, из рисунка 1 видно, что степень снижения характеристик давления и абсолютные значения мгновенных величин давления в камере сгорания значительно отличаются для всех 5 характеристик. Наибольшее абсолютное и относительное изменение мгновенной величины давления наблюдается при больших значениях частоты прокрутки коленчатого вала $v=5,5 \text{ Гц}$. Так при минимальном износе ЦПГ значение мгновенной величины давления составило – 5,981 бар, а при предельном максимальном износе ЦПГ – 4,456 бар. При снижении частоты прокрутки коленчатого вала (при $v=4,3 \text{ Гц}$) обнаруживается снижение абсолютных значений давления до уровня: 5,208 и 3,73 бар соответственно. При минимальной частоте прокрутки коленчатого вала ($v=0,7 \text{ Гц}$) характеристика проходит практически полого, близко (почти параллельно оси $Z, \%$). Это говорит

о уменьшении чувствительности мгновенной величины давления с уменьшением частоты прокрутки коленчатого вала. С другой стороны, исчезают динамические составляющие прироста мгновенного давления и результат диагностирования становится более достоверным. Грань перехода (когда динамические составляющие пульсаций мгновенного давления весомо влияют на выходную величину и когда их степень влияния минимальна) следует учесть в дальнейших исследованиях.

Проведем оценку чувствительности мгновенного давления в камере сгорания Р, бар от изменения степени износа цилиндра ДВС Z, %. Для чего воспользуемся формулой (1):

$$K_{\Delta P_i} = \frac{\Delta P_i}{\Delta Z}, \quad (1)$$

Для расчета частных коэффициентов чувствительности воспользуемся выражениями (2, 3, 4, 5, 6):

$$K_{\Delta P_{0,7}} = \frac{\Delta P_{0,7}}{\Delta Z}, \quad (2)$$

$$K_{\Delta P_{1,9}} = \frac{\Delta P_{1,9}}{\Delta Z}, \quad (3)$$

$$K_{\Delta P_{3,1}} = \frac{\Delta P_{3,1}}{\Delta Z}, \quad (4)$$

$$K_{\Delta P_{4,3}} = \frac{\Delta P_{4,3}}{\Delta Z}, \quad (5)$$

$$K_{\Delta P_{5,5}} = \frac{\Delta P_{5,5}}{\Delta Z}, \quad (6)$$

Разность значений износа ЦПГ берется по модулю для того, чтобы исключить минусовые значения в расчетах:

$$\Delta Z = |Z_{\min} - Z_{\max}|, \quad (7)$$

где ΔZ – модуль разности величин износа ЦПГ в пределах диапазона их варьирования, %; Z_{\min} – суммарный минимальный износ, оцениваемый в виде утечки воздуха из ЦПГ, %; Z_{\max} – суммарный максимальный износ, оцениваемый в виде утечки воздуха из ЦПГ, %.

В результате расчета частных коэффициентов чувствительности получим: $K_{\Delta P_{0,7}} = 0,011$ бар/%; $K_{\Delta P_{1,9}} = 0,040$ бар/%; $K_{\Delta P_{3,1}} = 0,046$ бар/%; $K_{\Delta P_{4,3}} = 0,057$ бар/%; $K_{\Delta P_{5,5}} = 0,059$ бар/%.

Как видно из проведенного расчета, коэффициент чувствительности возрастает с увеличением значения частоты прокрутки коленчатого вала.

Объясняется это возрастанием степени прироста мгновенного давления в ЦПГ при росте линейной скорости поршня.

Выводы: Проведенный анализ показывает на потребность разработки новых средств и методов диагностирования современных ДВС, в частности ЦПГ. Для этой цели, по всем сопутствующим параметрам подходит метод диагностирования ЦПГ по параметрам мгновенного давления при прокрутке ДВС внешним устройством на малых скоростях ($5\dots30\text{ мин}^{-1}$). Установлено, что с увеличением скорости прокрутки коленвала ДВС коэффициент чувствительности возрастает. Исследования нового метода показали на его высокую пригодность и приспособленность для современных автотракторных ДВС. Результаты статьи могут быть полезны широкому кругу исследователей при контроле технического состояния ЦПГ современных машин.

Список литературы

1. Гриценко, А. В. Разработка эффективных средств и методов диагностирования двигателей внутреннего сгорания автомобилей / А. В. Гриценко, С. С. Куков // Вестник ЧГАА. – 2011. – Т. 58. – С. 111-117. – EDN OZPEXD.
2. Гриценко, А. В. Методические приемы повышения точности диагностирования подшипников коленчатого вала / А. В. Гриценко, К. В. Глемба, С. С. Куков // Вестник Челябинской государственной агронженерной академии. – 2010. – Т. 57. – С. 51-56. – EDN OZOTBL.
3. 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.
4. Гриценко, А. В. Теоретическое обоснование диагностирования цилиндроворшневой группы в режиме прокрутки двигателя стартером / А. В. Гриценко, С. С. Куков, К. В. Глемба // Пром-Инжиниринг: труды II международной научно-технической конференции, Челябинск - Новочеркасск - Волгоград - Астана: Издательский центр ЮУрГУ, 2016. – С. 114-117. – EDN WFUKYX.
5. Гриценко, А. В. Метод диагностирования систем ДВС по тестовому контролю правильности функционирования систем / А. В. Гриценко // Экономика и производство: сборник научных трудов / под редакцией В.В. Ерофеева. – Челябинск: Челябинское региональное отделение РАЕН, 2012. – С. 113-121. – EDN VDSFJN.
6. Гриценко, А. В. Теоретическое исследование работы электромагнитной форсунки и ее влияние на процесс топливоподачи / А. В. Гриценко, С. С. Куков, Д. Д. Бакайкин // Вестник МГАУ имени В.П. Горячкина". – 2012. – № 3(54). – С. 40-41. – EDN RBFGAF.
7. Гриценко, А. В. Диагностирование систем двигателя внутреннего сгорания бестормозным методом с перераспределением цилиндровых нагрузок / А. В. Гриценко // Вестник ЧГАА. – 2011. – Т. 58. – С. 108-110. – EDN OZPEWJ.

8. Бакайкин, Д. Д. Техническое обслуживание элементов системы топливоподачи бензинового двигателя с электронной системой управления / Д. Д. Бакайкин, С. С. Куков, А. В. Гриценко // Вестник ЧГАУ. – 2006. – Т. 47. – С. 10-13. – EDN UWOGAH.
9. Гриценко, А. В. Обоснование и разработка средств и методов диагностирования двигателей внутреннего сгорания автомобилей / А. В. Гриценко, С. С. Куков // Достижения науки - агропромышленному производству: Материалы I Международной научно-технической конференции, Челябинск: ЧГАА, 2011. – С. 7-11. – EDN UCGEWP.
10. 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.
11. Гриценко, А. В. Обоснование и разработка эффективных систем диагностирования двигателей внутреннего сгорания мобильных сельскохозяйственных машин / А. В. Гриценко, С. С. Куков // Достижения науки - агропромышленному производству: Материалы LI Международной научно-технической конференции: Челябинская государственная агроинженерная академия, 2012. – С. 20-25. – EDN UATEIN.
12. Гриценко, А. В. Оптимизация процесса диагностирования автотракторной техники минимизацией затрат / А. В. Гриценко, А. М. Плаксин // Вестник Челябинской государственной агроинженерной академии. – 2013. – Т. 63. – С. 42-46. – EDN RSCQDD.
13. Гриценко, А. В. Алгоритм, информационные характеристики процесса технического диагностирования, методики проектирования и оптимизации устройств диагностирования / А. В. Гриценко // Вестник ЧГАА. – 2013. – Т. 63. – С. 38-41. – EDN RSCQCT.
14. Гриценко, А. В. Разработка тестовых систем диагностирования мобильных энергетических средств / А. В. Гриценко, А. М. Плаксин, К. А. Цыганов // Вестник Челябинской государственной агроинженерной академии. – 2013. – Т. 65. – С. 9-19. – EDN RSCPNT.
15. Гриценко, А. В. Определение эффективности использования средств технического диагностирования с учетом частоты отказов систем ДВС / А. В. Гриценко, С. С. Куков // Вестник ЧГАА. – 2012. – Т. 60. – С. 45-48. – EDN OZPFXH.
16. Гриценко, А. В. Диагностирование систем ДВС на тестовых статических режимах / А. В. Гриценко, С. С. Куков // Вестник ЧГАА. – 2012. – Т. 61. – С. 31-38. – EDN PANXLR.
17. Плаксин, А. М. Взаимосвязь конструктивного совершенствования мобильных энергетических средств с методами диагностирования их технического состояния / А. М. Плаксин, А. В. Гриценко // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10-15. – С. 3373-3377. – EDN SWOBRR.
18. Исследование процесса выбега ДВС легковых автомобилей при искусственном формировании сопротивления / А. В. Гриценко, А. М. Плаксин,

К. В. Глемба [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11-4. – С. 749-753. – EDN SWNRIV.

19. Диагностирование системы выпуска двигателей внутреннего сгорания путем контроля сопротивления выпускного тракта / А. М. Плаксин, А. В. Гриценко, С. Э. Бисенов [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 8-2. – С. 322-326. – EDN SHRHL.

20. Глемба, К. В. Диагностирование коренных и шатунных подшипников кривошипно-шатунного механизма / К. В. Глемба, А. В. Гриценко, О. Н. Ларин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2014. – Т. 14, № 1. – С. 63-71. – EDN SBNNQD.

21. Гриценко, А. В. Концепция развития методов и средств диагностирования автомобилей / А. В. Гриценко // Достижения науки - агропромышленному производству: ЛII Международная научно-техническая конференция, Челябинск: Челябинская государственная агроинженерная академия, 2013. – С. 42-49. – EDN UGUHIX.

22. Гриценко, А. В. Метод диагностирования газораспределительного механизма по параметрам расхода воздуха и фаз газораспределения ДВС / А. В. Гриценко // Вестник Челябинской государственной агроинженерной академии. – 2012. – Т. 62. – С. 32-34. – EDN PETYUH.

23. 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.

24. 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.

25. К вопросу исследования процесса диагностирования цилиндро-поршневой группы / С. С. Куков, А. В. Гриценко, К. В. Глемба [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 11-1. – С. 47-52. – EDN XALCFX.