

УДК 621.43.001.42

## ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПРИ КОНТРОЛЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ ДВС

Караулов А. В.<sup>1</sup>, Барышников С. А.<sup>1</sup>, Бурцев А. Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>аспирант, ЮУрГАУ, г. Челябинск;

<sup>1</sup>к.т.н., доцент, ЮУрГАУ, г. Челябинск;

<sup>2</sup>к.т.н., доцент, филиал КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева, г. Белово.

**Аннотация:** В материалах приводится оценка эффективности контроля цилиндропоршневой группы. Технический результат состоит в повышении точности диагностирования цилиндропоршневой группы двигателей.

**Ключевые слова:** эффективность, диагностирование, цилиндропоршневая группа, износ, отказ, тестовый метод.

**Abstract:** The materials provide an assessment of the efficiency of cylinder-piston group control. The technical result consists in increasing the accuracy of diagnosing the cylinder-piston group of engines.

**Keywords:** efficiency, diagnostics, cylinder-piston group, wear, failure, test method.

Актуальность вопроса. Особую актуальность приобретают работы связанные с изучением надежности машин [1, 2]. Сложнее всего изучать системы и узлы автотракторной техники в долговременной перспективе – на долговечность [3, 4, 5]. Как правило, это периоды времени, занимающие несколько лет, а то и более десятка лет [6, 7, 8]. В некоторых случаях используются методики ускоренных испытаний [9, 10, 11]. Но ускоренные испытания чаще всего дают внушительные погрешности [12, 13, 14]. При этом под наблюдением могут находиться одновременно несколько десятков агрегатов или автотракторных средств в целом [15, 16]. Значительные затраты ресурсов и денежных средств характерны для ресурсных испытаний [17, 18]. Известны методики испытаний дающие результаты для малого числа наблюдаемых объектов [19, 20]. Однако, даже в этом случае требуется длительное время на проведение контроля [21, 22]. Так, цилиндропоршневая группа (ЦПГ) относится к базовым узлам ДВС [23]. Ее ресурс может достигать от 0,2 до 1,5 млн. км пробега [24, 25]. Возьмем за основу тестовый метод контроля ЦПГ по мгновенной величине давления при прокрутке ДВС на малых скоростях. В качестве объекта испытаний выступает двигатель ЗМЗ-4062 с искусственно сформированными износами ЦПГ. Оценим сигнал мгновенного давления с позиций эффективности – по комплексному показателю – информативность. С учетом сказанного целью исследования является оценка эффективности применения тестовых методов при диагностировании ЦПГ.

Методы и материалы. В результате проведения многофакторного эксперимента получены данные 60 единичных опытов. В соответствии с методи-

кой экспериментальных исследований был проведен двухфакторный эксперимент по установлению взаимосвязи величины мгновенного давления в камере сгорания от частоты прокрутки коленчатого вала (привода стенда с частотным управлением)  $\nu$ , Гц и степени износа цилиндра ДВС  $Z$ , % (рисунок 1).

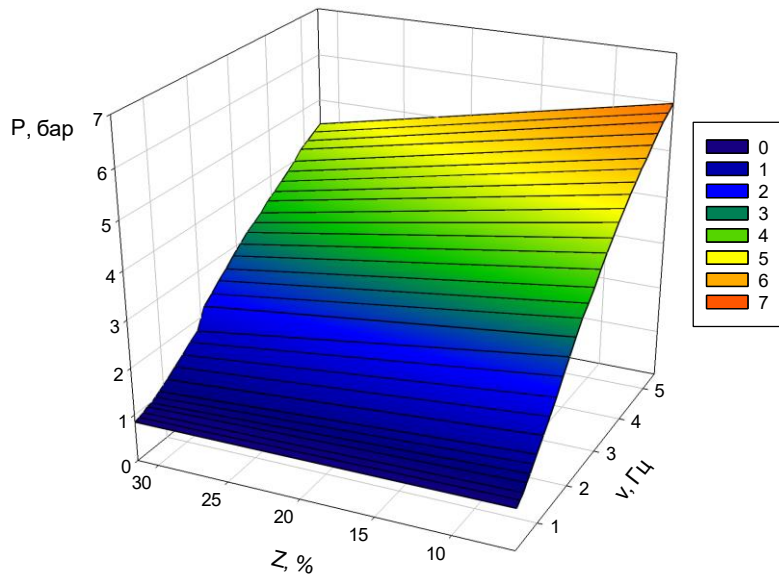


Рисунок 1 – Экспериментальная зависимость, полученная по результатам обработки двухфакторного эксперимента

Как видно из рисунка 1, полученная графическая модель близка к линейной плоскости. Увеличение степени износа ЦПГ приводит к уменьшению величины мгновенного давления на всем протяжении экспериментальной поверхности отклика. Так рост степени износа с 6 до 31,5% приводит к снижению мгновенной величины давления с 6 бар до 4,5 бар (при  $\nu=5,5$  Гц). Т.е. можно говорить о 25% снижении мгновенной величины давления, что очень весомо при разработке нового диагностического метода. Однако, ситуация значительно меняется с понижением скорости прокрутки. Так при минимальной частоте прокрутки коленчатого вала ( $\nu=0,3$  Гц), наблюдается почти линейный тренд около 1 бар. Степень изменения сложно рассмотреть, из-за малых вариаций выходного значения мгновенной величины давления. Важно учесть погрешность и разрешающую способность датчика давления и регистрирующей аппаратуры. Если погрешность будет высокая и, к тому же, разрешающая способность низкой, то при малой скорости прокрутки коленчатого вала, сложно распознать какую-либо связь. С учетом этого, следует тщательно подходить к выбору регистрирующей аппаратуры и средств измерения регистрируемых параметров. При этом в полезном сигнале может присутствовать динамическая составляющая прироста мгновенного давления, которая несет нелинейную составляющую. Используя методический прием относительного контроля степени изменения мгновенного давления при варьировании скорости прокрутки коленчатого вала, можно учесть степень влияния динамического прироста давления.

Первоначальное описание экспериментальной поверхности отклика можно сделать при помощи линейного уравнения плоскости. Начнем рассмотрение с более простой модели типа - 3D Plane (описание при помощи линейной плоскости). Полученные экспериментальные данные были обработаны с использованием программного продукта Sigma Plot.

Программа Sigma Plot сформировала таблицу 1 обработки данных.  
Таблица 1 – Обработка данных по параметру Р (модель типа - 3D Plane)

	Coefficient (Коэф.)	Standard Error of Estimate (Стан- дартная ошибка оценки)	t (Статистика коэф.)	P (Значение веро- ятности)
R (Коэф. корреляции)	0,9841	0,2842		
R <sup>2</sup> (Коэф. линейной детерминации)	0,9684			
Adj R <sup>2</sup> (Скорректированный R <sup>2</sup> )	0,9673			
y <sub>0</sub>	1,3052	0,0887	14,7212	<0,0001
a	0,8926	0,0225	39,7011	<0,0001
b	-0,0375	0,0029	-13,0307	<0,0001

На первом этапе рассмотрим описание полигона экспериментальных данных при помощи линейной модели, которая имеет вид:

$$f = y_0 + a * x + b * y \quad (1)$$

где y<sub>0</sub> - коэффициент регрессии, a - коэффициент регрессии, x - частота варьирования (Гц), b - коэффициент регрессии, y - степень износа цилиндра (%).

Подставим реальные значения из таблицы 1 в уравнение (1). В результате получим выражение в раскодированном виде (модель плоскости):

$$P = 1,3052 + 0,8926 * v - 0,0375 * Z, \quad (2)$$

где v - частота варьирования, Гц; z – степень износа, %.

Из таблицы 1 видно, что R<sup>2</sup> (коэффициент линейной детерминации) принимает высокое значение 0,96, т.е. ошибка описания данных может составлять до 4% в зависимости от конкретной точки на полигоне распределения. Уравнение (2), с учетом сказанного, с ошибкой не более 4% может описывать любую точку из выбранного диапазона данных эксперимента.

Выводы: Проведен анализ и выбраны математические приемы для оценки эффективности тестовых методов диагностирования ЦПГ. Установлено общее число минимальных измерений для контроля мгновенной величины давления в ЦПГ современных ДВС. Контроль информативности мгновенной величины давления показывает на существенный результат. Получен вывод о высокой чувствительности тестового метода и минимальном количестве

ошибок первого и второго рода при контроле технического состояния ЦПГ. Рекомендуются использовать данный метод в сервисных предприятиях для повышения эффективности контроля ЦПГ.

#### Список литературы

1. Гриценко, А. В. Разработка эффективных средств и методов диагностирования двигателей внутреннего сгорания автомобилей / А. В. Гриценко, С. С. Куков // Вестник Челябинской государственной агроинженерной академии. – 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 агроинженерной 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 SGRUWJ.
4. Гриценко, А. В. Теоретическое обоснование диагностирования цилиндропоршневой 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, 19–20 мая 2016 года / ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет). – 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 Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет 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 Челябинской государственной агроинженерной академии. – 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 Челябинского агроинженерного университета. – 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, 01–02 марта 2011 года / Редактор: Н.С. Сергеев. Том Часть 3. – Челябинск: Челябинская государственная агроинженерная академия, 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, Челябинск, 26–28 января 2012 года / Под редакцией Н.С. Сергеева. Том Часть III. – Челябинск: 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 Челябинской государственной агроинженерной академии. – 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 Челябинской государственной агроинженерной академии. – 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 Челябинской государственной агроинженерной академии. – 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 SHRHOL.

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: ЛП Международная научно-техническая конференция, Челябинск, 24–26 января 2013 года. Том 3. – 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 цилиндропоршневой группы / С. С. Куков, А. В. Гриценко, К. В. Глемба [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 11-1. – С. 47-52. – EDN XALCFX.