

УДК 621.43.001.42

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОЦЕНКИ ДИНАМИЧЕСКОЙ КОМПРЕССИИ

¹Куков С.С., ¹Плаксин А.М., ¹Гриценко А.В., ^{1,2}Глемба К.В., ³Карпенко А.Г., ³Руднев В.В.

¹ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет»,

Челябинск, e-mail: kukov24@mail.ru;

²ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет

(национальный исследовательский университет)», Челябинск, e-mail: glemba77@mail.ru;

³ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет»,

Челябинск, e-mail: angr123@list.ru

Герметичность камер сгорания является одним из важнейших ресурсных параметров технического состояния двигателя. В настоящее время заводы производители диагностических средств рекомендуют осуществлять контроль герметичности ЦПГ методом динамической компрессии. Для возможности проведения достоверных экспериментальных исследований был выбран датчик давления марки WIKA OT-01, так как он полностью соответствовал необходимым для проведения эксперимента характеристикам и точности. При проведении эксперимента площадь суммарного износа изменяется от 0,5 мм² до 1,6 мм². Обороты прокрутки коленчатого вала составляли от 100 до 300 мин⁻¹ с шагом 50 мин⁻¹. Выбор шага связан с погрешностью измерений, применяемых при контроле средств диагностирования. В результате хронометрирования операций общее время диагностирования ЦПГ двигателя безразборным методом для одного автомобиля ГАЗ составляет 36,3 чел./мин.

Ключевые слова: двигатель, цилиндропоршневая группа, диагностирование, износ, частота вращения, давление, фаза, осциллограмма, режимы, параметры

DIAGNOSING CYLINDER GROUP ACCORDING TO THE RESULTS OF THE ESTIMATION OF THE COMPRESSION RATIO

¹Kukov S.S., ¹Plaksin A.M., ¹Gritsenko A.V., ^{1,2}Glemba K.V., ³Karpenko A.G., ³Rudnev V.V.

¹South Ural State Agrarian University, Chelyabinsk, e-mail: kukov24@mail.ru;

²South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, e-mail: glemba77@mail.ru;

³South Ural State Humanitarian-Pedagogical University, Chelyabinsk, e-mail: angr123@list.ru

The tightness of the combustion chambers is one of the most important resource parameters of the technical condition of the engine. Currently, the manufacturers of diagnostic tools is recommended to control the tightness of Chu by dynamic compression. To allow for accurate experimental research, we have chosen the pressure transducer brand WIKA OT-01 because it meets the necessary for the experiment characteristics and accuracy. In the experiment the total area of wear varies from 0,5 mm² to 1,6 mm². The scrolling speed of the crankshaft is carried out from 100 to 300 min⁻¹ with the step of 50 min⁻¹. Mode selection is associated with the measurement error used in the diagnosis. The total time of diagnosing the cylinder-piston group of the engine without its disassembly for one car brand GAZ is 36,3 pers. min.

Keywords: group of cylinder-piston, engine, diagnose, wear, the number of rotations of the crankshaft, the cylinder pressure, the phase of the valve timing, waveforms, modes, options

По соотношению числа отказов двигателей внутреннего сгорания (ДВС) цилиндропоршневая группа (ЦПГ) занимает второе место (до 20%) после топливной аппаратуры (до 45%) [3, 12]. Цилиндропоршневая группа двигателя работает в наиболее тяжелых условиях, таких как газовая среда, высокая температура, большие циклические нагрузки. При этом происходит интенсивный износ поршневых колец и поверхности тела цилиндра. Вследствие износа падает компрессия в цилиндрах, двигатель теряет мощность, хуже запускается, увеличивается расход масла и топливных материалов, ухудшаются экологические параметры. Следовательно, герметичность камер сгорания является одним из важнейших ресурс-

ных параметров технического состояния двигателя [7, 9]. В настоящее время руководством по техническому обслуживанию двигателей легковых автомобилей, ЦПГ рекомендуют диагностировать, применяя ряд средств [4, 5, 8, 11, 15]. Точность и достоверность оценки технического состояния ЦПГ указанными приборами очень низкие. Целью работы является повышение эффективности диагностирования ЦПГ двигателей внутреннего сгорания способом оценки динамической компрессии.

Теоретические исследования. Выбор диагностических параметров

Износ ЦПГ значительно влияет на максимальное давление конца сжатия и на по-

ложение коленчатого вала двигателя, при котором достигается максимальное давление (фазу максимального давления). Значительная величина изменения значений предполагает их использование в качестве диагностических параметров. На величину давления конца сжатия и фазу будут влиять также режимы: обороты прокрутки вала двигателя стартером; температура охлаждающей жидкости. При выборе диагностических параметров следует учитывать максимальную чувствительность к изменению структурных параметров, описывающих техническое состояние ЦПГ, и иметь однозначную связь с ними. Определим величину коэффициента чувствительности для давления конца сжатия и фазы максимального давления на различных режимах прокрутки. Коэффициент чувствительности диагностического параметра определяется зависимостью

$$K = \Delta P / \Delta S, \quad (1)$$

где ΔP – изменение диагностического параметра, ΔS – изменение структурного параметра.

Адиабатный процесс, будет подчиняться уравнению состояния идеального газа Менделеева – Клапейрона [1, 2, 6, 10, 13, 14].

$$PV = \mu RT, \quad (2)$$

где P – давление, Па; V – объем, мм³; μ – молярная масса вещества; R – газовая постоянная, Дж/кг; T – температура, К.

Вычислим изменение давления в зависимости от изменения объема надпоршневого пространства:

$$P_2 = P_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^k, \quad (3)$$

где P_1 – давление в начале такта сжатия, Па; V_1 – объем надпоршневого пространства в начальный момент сжатия, мм³; V_2 – объем надпоршневого пространства в каждый последующий момент сжатия (через 2 град. поворота коленчатого вала), мм³; k – показатель адиабаты (для воздуха равен 1,4).

При передаче тепла стенкам цилиндра изменится и значения давления воздуха в цилиндре. Значения давления воздуха в цилиндре вычисляется по следующему уравнению [1, 6, 14]:

$$P_3 = \frac{P_2 \cdot T_3}{T_2}, \quad (4)$$

где P_3 – давление в цилиндре с учетом передачи тепла стенкам цилиндра, Па; T_2 – температуры в камере сгорания без учета теплообмена, К; T_3 – температура воздуха в цилиндре при передаче тепла стенкам цилиндра, К.

Примем, что в результате утечки происходит адиабатное расширение воздуха в цилиндре на величину ΔV , тогда давление в результате расширения воздуха определим по уравнению

$$P_4 = P_3 \left(\frac{V_2}{V_2 + \Delta V} \right)^k, \quad (5)$$

где ΔV – объем воздуха, просочившийся через зазоры ЦПГ, при повороте коленчатого вала на 2 град, мм³.

Материалы и методы исследования

Для возможности проведения экспериментальных исследований необходимо выбрать датчик давления, блок питания и регистрирующую аппаратуру. Выбор датчика давления марки WKAOT-01 обосновывается тем, что он полностью соответствует необходимым для проведения эксперимента характеристикам и точностью [8, 15]. Характеристики датчика: диапазон давления: от 0 до 16 бар; давление перегрузки: в 1,5 раза; точность: $\pm 0,25\%$; $\pm 0,5\%$; температура смещения нуля: 0,03%; диапазон термкомпенсации: 0...50 °С; температура эксплуатации: от – 30 до 120 °С; источник питания: 15...30 В постоянного тока; входной сигнал 4...20 мА; подключение двухпроводное. Датчик давления необходимо питать блоком питания 20 В. Для этого специально был разработан источник питания. В качестве регистрирующего средства использовался USB-осциллограф Постолювского с программой «UsbOscilloscope» [11]. Способ установки датчика на двигателе ЗМЗ-4062 представлен на рис. 1.



Рис. 1. Датчик давления, вкрученный в свечное отверстие цилиндра двигателя ЗМЗ-4062

Результаты исследования и их обсуждение

Перед вычислением коэффициента чувствительности максимального давления необходимо было подобрать цилиндры с изменением площади суммарного износа от 0,5 мм² до 1,6 мм². Для этой цели использовался эталонный микрометрический винт, который позволял определить суммарную

эквивалентную утечку цилиндров. А прибором К-69 проводилась подборка цилиндров с заданной утечкой с износом колец и гильзы. Оценка износа осуществлялась по известной методике [12]. Обороты прокрутки коленчатого вала составляли от 100 до 300 мин⁻¹ с шагом 50 мин⁻¹. Выбор шага связан с погрешностью измерений мотор-тестеров и осциллографов применяемых при диагностировании автомобильных двигателей. Вариация числа оборотов коленчатого вала обеспечивалась установкой реостата в цепь питания между аккумулятором и стартером, при использовании которого ограничивался ток питания стартера в режиме прокрутки. В результате экспериментальных исследований получены графики изменения величины давления для поршневых колец в холодном двигателе, имеющем температуру охлаждающей жидкости 20 °С и данные при температуре охлаждающей жидкости 90 °С (рис. 2, а). Аналогичные экспериментальные исследования проведены при износе цилиндров (рис. 2, б).

Линии совпадают. Из этого следует заключение: изменение величины давления конца сжатия от температуры практически не зависит в пределах рабочих температур охлаждающей жидкости 20 °С и 90 °С и результаты имеют одинаковый характер.

Экспериментальные результаты при износе поршневых колец 1,6 мм² (рис. 2, а) для холодного и горячего двигателя также идентичны. Но при этом величина давления конца сжатия при 100 мин⁻¹ составляет 6,2 бар, а при 300 мин⁻¹ – 11,9 бар. Главным образом с ростом износа поршневых колец существенно изменяется давление конца сжатия, мало коррелируя с температурой охлаждающей жидкости.

Рассмотрим характер взаимосвязи давления конца сжатия с износом гильзы цилиндра (рис. 2, б). При износе гильзы 0,5 мм² характер зависимости для холодного двигателя и горячего также одинаков. Но при этом величина давления конца сжатия при 100 мин⁻¹ составляет 12,5 бар, а при 300 мин⁻¹ – 15,8 бар. Это несколько больше значений давления

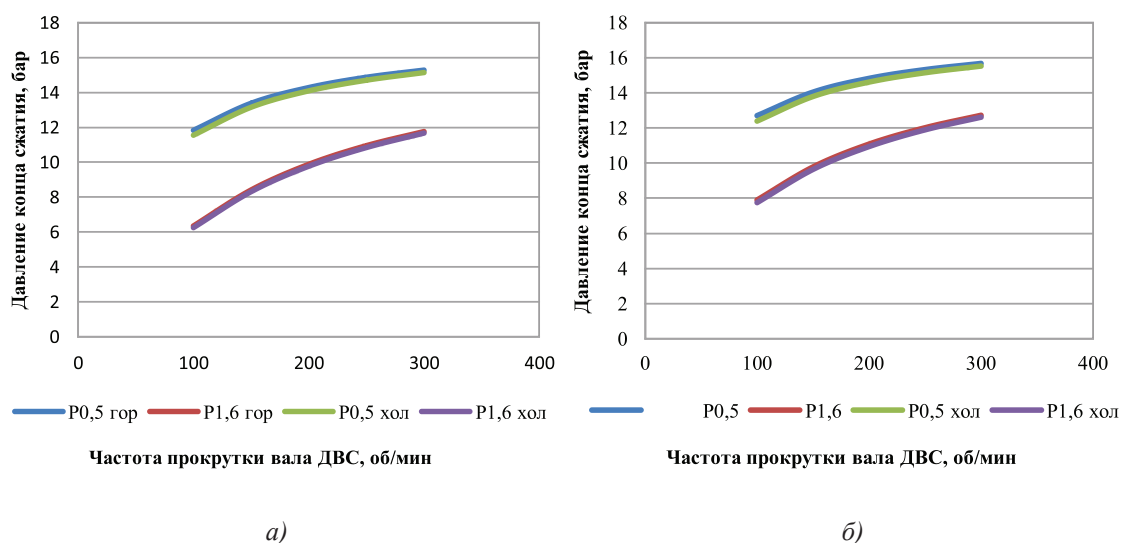


Рис. 2. Изменение давления конца сжатия в зависимости от износа поршневых колец (а) и гильзы (б) на различных режимах прокрутки стартером и температуре ДВС

Как видно из рис. 2, а, б, характер изменения давления конца сжатия в зависимости от износа поршневых колец и гильзы практически идентичен. Так при изменении частоты вращения прокрутки стартером от 100 до 300 мин⁻¹ при износе поршневых колец 0,5 мм² (рис. 2, а) характер зависимости для холодного двигателя и горячего (температура охлаждающей жидкости 20 °С и 90 °С) практически одинаков. Величина давления конца сжатия при 100 мин⁻¹ составляет 11,8 бар, а при 300 мин⁻¹ – 15,3 бар.

конца сжатия для износа колец при тех же изменениях температуры охлаждающей жидкости. При износе гильзы 1,6 мм² для холодного двигателя и горячего изменение давления также одинаково. Величина давления конца сжатия при 100 мин⁻¹ составляет 7,9 бар, а при 300 мин⁻¹ – 12,3 бар.

Общий анализ рис. 2, а и б говорит о большей динамике снижения давления конца сжатия с износом поршневых колец. Однако по максимальной амплитуде давления различить эти две неисправности фак-

тически невозможно. Следует дополнительно к этому осуществлять анализ фазовых параметров изменения давления. Но вначале посмотрим, как меняется коэффициент чувствительности давления конца сжатия от износа поршневых колец и гильзы цилиндров. Величина изменения структурного параметра ΔS , вызвавшая изменение давления конца сжатия, составляет $1,1 \text{ мм}^2$. Вычислим

величину изменения давления ΔP и коэффициента чувствительности для различных режимов прокрутки коленчатого вала двигателя стартером. По полученным данным построим графики зависимости коэффициента чувствительности давления конца сжатия при износе поршневых колец и цилиндров при $\Delta S = 1,6 \text{ мм}^2$ при различных оборотах ДВС и температуре (рис. 3, а, б).

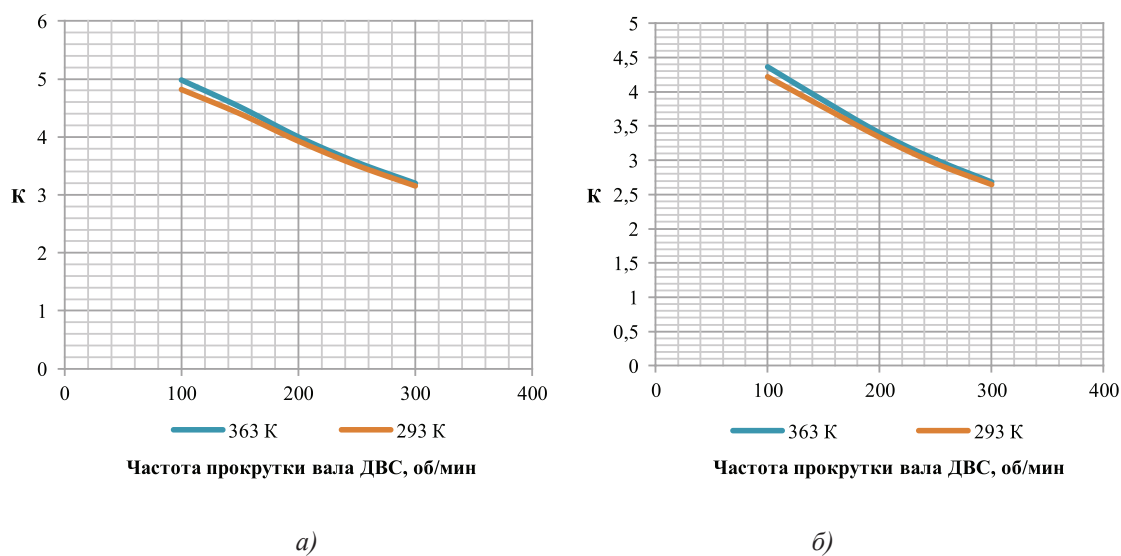


Рис. 3. Коэффициент чувствительности давления конца сжатия: при износе $\Delta S = 1,6 \text{ мм}^2$ поршневых колец (а) и цилиндров (б) на различных оборотах ДВС и температуре

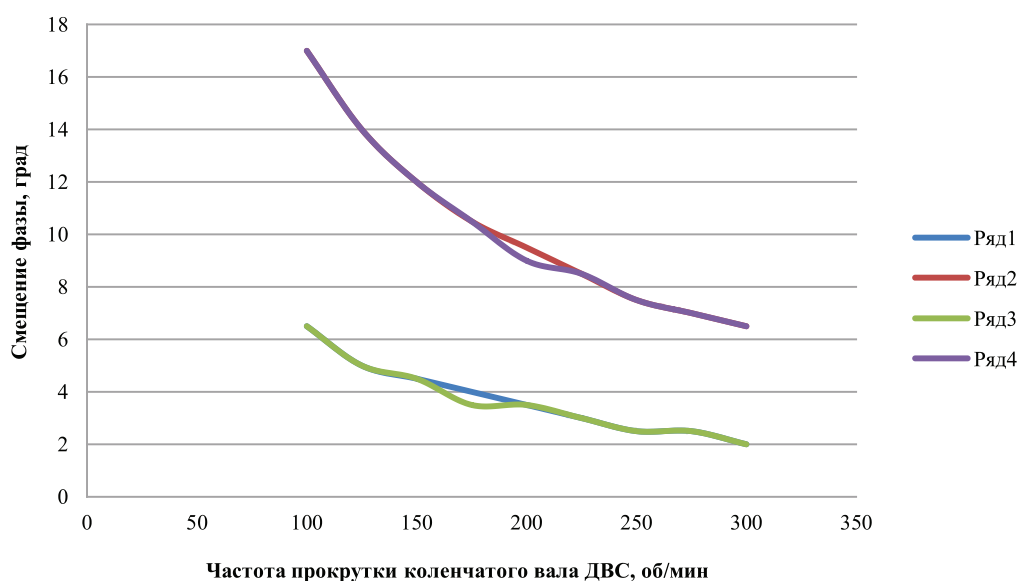


Рис. 4. Зависимости смещения фазы в градусах: при температуре 20 и 90 °С и различном износе поршневых колец – ряд 1 и 3 смещение фазы в цилиндре с утечкой $\Delta S = 0,5 \text{ мм}^2$; ряд 2 и 4 смещение фазы в цилиндре с утечкой $\Delta S = 1,6 \text{ мм}^2$

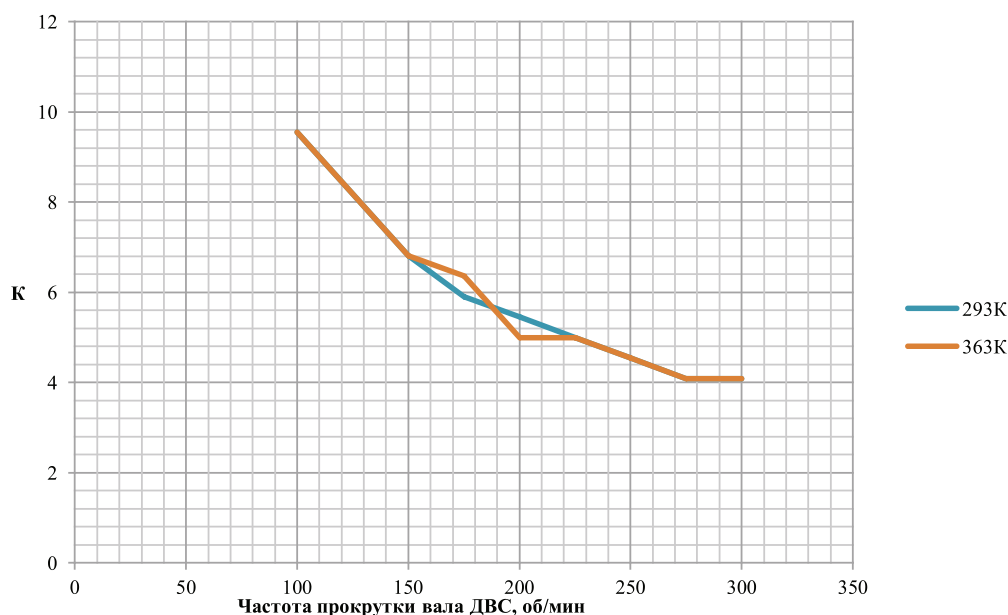


Рис. 5. Графики зависимости значения коэффициента чувствительности давления конца сжатия для различных режимов прокрутки вала двигателя стартером

Анализ данных по рис. 3 говорит о том, что чувствительность давления конца такта сжатия больше к износу поршневых колец. Так, коэффициент чувствительности при износе колец изменяется от 5 до 3,2 в пределах изменения частоты прокрутки от 100 до 300 мин⁻¹. А при износе цилиндров – от 4,4 до 2,7. Однако эти пределы изменения достаточно близки друг к другу, чтобы отличить износ кольца от гильзы.

Давление, безусловно, является одним из важнейших параметров КПД работы ДВС, который стоит учитывать, но, как оказалось, фаза более чувствительна к изменению технического состояния ЦПГ. Определим то, как будет смещаться фаза в зависимости от различных режимов диагностирования, и выберем, при каком угле прохождения поршня создается максимальное давление. Для получения более точных значений шаг контроля сократили до 25 мин⁻¹. В результате экспериментальных исследований получены зависимости смещения в градусах фазы максимального давления в испытуемых цилиндрах относительно ВМТ при температуре 20 и 90 °С и при различном износе поршневых колец (рис. 4).

Проведем анализ данных на рис. 4. Так при износе поршневых колец $\Delta S = 0,5 \text{ мм}^2$ смещение фазы при изменении оборотов прокрутки от 100 до 300 мин⁻¹ лежит в пределах от 6,2 до 2 град. Однако рост износа колец до $\Delta S = 1,6 \text{ мм}^2$ при тех же изменениях оборотов прокрутки составляет от 17 до 6,3 град. Как видно, температура также мало влияет

на изменение величины смещения фазы. На основании выявления такой чувствительной связи можно предположить, что смещение фазы с высокой точностью будет характеризовать износ поршневых колец. Вычислим величину смещения фазы ΔP и коэффициент чувствительности для различных режимов прокрутки коленчатого вала двигателя стартером при изменении износа поршневых колец 1,6 мм². По полученным данным построим графики зависимости значения коэффициента чувствительности давления конца сжатия для различных режимов прокрутки вала двигателя стартером (рис. 5).

Анализ данных, представленных на рис. 5, показывает, что рост износа поршневых колец вызывает существенное изменение фазы. Так в пределах изменения частоты прокрутки стартером 100–300 мин⁻¹ коэффициент чувствительности с максимального значения 9,6 при 100 мин⁻¹ падает до значения 4 при 300 мин⁻¹. Следовательно, чем меньше частота прокрутки стартером, тем выше чувствительность диагностического признака к износу поршневых колец. Его сравнение с рис. 3 говорит о том, что коэффициент чувствительности смещения фазы по сравнению с коэффициентом чувствительности давления конца сжатия больше в два раза. Рекомендуется при проведении диагностирования ЦПГ вначале оценить давление конца сжатия в режиме прокрутки, определиться с общей тенденцией технического состояния. А после оценить смещение фазы от ВМТ цилиндра и уточнить диагноз.

Достоверная оценка технического состояния ЦПГ указанным способом позволяет избежать дорогостоящего ремонта двигателя и свести до минимума простой автомобиля при капитальном и текущем ремонте двигателя, повысить коэффициент технической готовности мобильных машин.

Выводы

В результате хронометрирования операций процесса диагностирования общее время диагностирования ЦПГ двигателя безразборным методом для одного автомобиля ГАЗ составляет 36,3 чел./мин. За базовое средство взят пневмотестер, имеющий высокую достоверность и схожие затраты на обслуживание с нашим методом диагностирования, но не применимый на автомобилях с автоматической трансмиссией, на данный момент количество которых возросло до 50% согласно данным «Автостата». Произведены расчеты экономической эффективности разработанного способа диагностирования ЦПГ. Эффект от внедрения одного диагностического средства может составить около 40 508 руб. на один пост в год.

Список литературы

1. Гриценко А.В. Теоретическое обоснование диагностирования цилиндропоршневой группы в режиме прокрутки двигателя стартером [Текст] / А.В. Гриценко, С.С. Куков, К.В. Глемба // Пром-Инжиниринг: труды II Междун. науч.-техн. конф. – Челябинск: ЮУрГУ, 2016. – С. 114–117.
2. Дьяченко В.Г. Теория двигателей внутреннего сгорания [Текст]: учебник / В.Г. Дьяченко. – Харьков: ХНАДУ, 2009. – 340 с.
3. Иванов Р.В. Диагностирование ДВС по параметру мощности механических потерь [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук. – Волгоград, 2010. – 40 с.
4. Куков С.С. Аспекты диагностирования цилиндропоршневой группы в режиме прокрутки двигателя стартером транспортных и технологических машин агропромышленного комплекса [Текст] / С.С. Куков, А.В. Гриценко // АПК России. – 2016. – Т. 23, № 2. – С. 400–407.
5. Куков С.С. Совершенствование процесса диагностирования цилиндропоршневой группы [Текст] / С.С. Куков, А.В. Гриценко, Д.Д. Бакайкин // Достижения науки – агропромышленному производству: материалы LV Междун. науч.-техн. конф. – Челябинск: ЮУрГУ, 2016. – Ч. II. – С. 77–82.
6. Обозов А.А. Математическое имитационное моделирование рабочего процесса автомобильного ДВС в целях изучения диагностической информации [Текст] / А.А. Обозов, В.И. Таричко // Двигателестроение. – 2013. – № 2 (252). – С. 21–26.
7. Пичугин А.И. Повышение эффективности диагностирования цилиндропоршневой группы автомобильных двигателей путем совершенствования методов и средств распознавания ее состояний [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук. – Саратов: Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова, 2011. – 23 с.
8. Плаксин А.М. Экспериментальные исследования технического состояния цилиндропоршневой группы в режиме прокрутки двигателя стартером [Текст] / А.М. Плаксин, А.В. Гриценко, К.В. Глемба // Пром-Инжиниринг: труды II Междун. науч.-техн. конф. – Челябинск: ЮУрГУ, 2016. – С. 111–113.
9. Понизовский А.Ю. Оценка технического состояния цилиндропоршневой группы автотракторных дизелей по разности расходов воздуха на впуске и выпуске в пусковом режиме [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук. – Новосибирск, 2010. – 111 с.
10. Расчет автомобильных и тракторных двигателей [Текст]: учебное пособие для вузов / А.И. Колчин, В.П. Демидов. – М.: Высш. школа, 1980. – 400 с.

11. Руководство по эксплуатации USBAutoscope III: руководство по работе с программой USB-осциллограф [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.autoscanners.ru/catalogue/files/689/program_usb_oscilloscope.pdf (дата обращения: 16.08.16).

12. Сазонов К.А. Диагностирование цилиндропоршневой группы двигателей внутреннего сгорания пневматическим способом при низких рабочих давлениях [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук. – Челябинск, 1997. – 22 с.

13. Сборник задач по технической термодинамике и теплопередаче [Текст] / Л.В. Дементий, А.А. Кузнецов, Ю.В. Менафова. – Краматорск: ДГМА, 2002. – 260 с.

14. Gritsenko A., Kukov S., Glemba K. Theoretical Underpinning of Diagnosing the Cylinder Group During Motoring. *Procedia Engineering*. – 2016. – vol. 150. – P. 1182–1187.

15. Plaksin A., Gritsenko A., Glemba K. Experimental Studies of Cylinder Group State During Motoring. *Procedia Engineering*. – 2016. – vol. 150. – P. 1188–1191.

References

1. Gricenko A.V. Teoreticheskoe obosnovanie diagnostirovaniya cilindroporshnevoj grupy v rezhime prokrutki dvigatelja starterom [Текст] / A.V. Gricenko, S.S. Kukov, K.V. Glemba // Prom-Inzhiniring: trudy II Mezhdun. nauch.-tehn. konf. Cheljabinsk: JuUrGU, 2016. pp. 114–117.
2. Djachenko V.G. Teorija dvigatelej vnutrennego sgoraniya [Текст]: uchebnik / V.G. Djachenko. Harkov: HNADU, 2009. 340 p.
3. Ivanov R.V. Diagnostirovanie DVS po parametru moshhnosti mehanicheskikh poter [Текст]: avtoref. dis. kand. tehn. nauk. Volgograd, 2010. 40 p.
4. Kukov S.S. Aspekty diagnostirovaniya cilindroporshnevoj grupy v rezhime prokrutki dvigatelja starterom transportnyh i tehnologicheskikh mashin agropromyshlennogo kompleksa [Текст] / S.S. Kukov, A.V. Gricenko // APK Rossii. 2016. T. 23, no. 2. pp. 400–407.
5. Kukov S.S. Sovershenstvovanie processa diagnostirovaniya cilindroporshnevoj grupy [Текст] / S.S. Kukov, A.V. Gricenko, D.D. Bakajkin // Dostizheniya nauki agropromyshlennomu proizvodstvu: materialy LV Mezhdun. nauch.-tehn. konf. Cheljabinsk: JuUrGAU, 2016. Ch. II. pp. 77–82.
6. Obozov A.A. Matematicheskoe imitacionnoe modelirovanie rabocheho processa avtomobilnogo DVS v celjah izuchenija diagnosticheskoj informacii [Текст] / A.A. Obozov, V.I. Tarichko // Dvigatelistroenie. 2013. no. 2 (252). pp. 21–26.
7. Pichugin A.I. Povysenie jeffektivnosti diagnostirovaniya cilindroporshnevoj grupy avtomobilnyh dvigatelej putem sovershenstvovaniya metodov i sredstv raspoznavaniya ee sostojanij [Текст]: avtoref. dis. kand. tehn. nauk. Saratov: Saratovskij GAU im. N.I. Vavilova, 2011. 23p.
8. Plaksin A.M. Jeksperimentalnye issledovaniya tehničeskogo sostojaniya cilindroporshnevoj grupy v rezhime prokrutki dvigatelja starterom [Текст] / A.M. Plaksin, A.V. Gricenko, K.V. Glemba // Prom-Inzhiniring: trudy II Mezhdun. nauch.-tehn. konf. Cheljabinsk: JuUrGU, 2016. pp. 111–113.
9. Ponzovskij A.Ju. Ocenka tehničeskogo sostojaniya cilindroporshnevoj grupy avtotraktornyh dizelej po raznosti rashodov vozduha na vpuske i vypuske v puskovom rezhime [Текст]: avtoref. dis. kand. tehn. nauk. Novosibirsk, 2010. 111 p.
10. Raschet avtomobilnyh i traktornyh dvigatelej [Текст]: uchebnoe posobie dlja vuzov / A.I. Kolchin, V.P. Demidov. M.: Vyssh. shkola, 1980. 400 p.
11. Rukovodstvo po jekspluatcii USBAutoscope III: rukovodstvo po rabote s programmoj USB-oscillograf [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://www.autoscanners.ru/catalogue/files/689/program_usb_oscilloscope.pdf (data obrashhenija: 16.08.16).
12. Sazonov K.A. Diagnostirovanie cilindroporshnevoj grupy dvigatelej vnutrennego sgoraniya pnevmaticheskim sposobom pri nizkih rabochnih davlenijah [Текст]: avtoref. dis. kand. tehn. nauk. Cheljabinsk, 1997. 22 p.
13. Sbornik zadach po tehničeskoi termodinamike i teploperedache [Текст] / L.V. Dementij, A.A. Kuznecov, Ju.V. Menafova. Kratorsk: DGMA, 2002. 260 p.
14. Gritsenko A., Kukov S., Glemba K. Theoretical Underpinning of Diagnosing the Cylinder Group During Motoring. *Procedia Engineering*. 2016. vol. 150. pp. 1182–1187.
15. Plaksin A., Gritsenko A., Glemba K. Experimental Studies of Cylinder Group State During Motoring. *Procedia Engineering*. 2016. vol. 150. pp. 1188–1191.