

УДК 621.431

Галиев Р.М., кандидат технических наук, доцент, Набережночелнинский институт ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

Нуретдинов Д.И., кандидат технических наук, доцент, Набережночелнинский институт ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

Назаров Ф.Л., аспирант 4 курса, Набережночелнинский институт ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ

Аннотация: В статье рассматриваются конструктивные и диагностические параметры, определяющие надежность дизельных двигателей внутреннего сгорания. Представлены факторы, влияющие на техническое состояние цилиндропоршневой группы двигателя, виды и причины отказов. Предложены подходы к диагностированию современных дизельных двигателей.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, надёжность, цилиндропоршневая группа, диагностирование

Повышение надёжности транспортных средств является одной из основных задач заводов-изготовителей и инженерно-технической службы автотранспортного предприятия. Надёжность автомобиля – это свойство сохранять по пробегу в заданных пределах все параметры, определяющие работоспособность. Она включает в себя: долговечность, сохраняемость, ремонтпригодность и безотказность.

Самым нагруженным элементом автомобиля во время эксплуатации является двигатель, и основные отказы, неисправности приходятся тоже на него (примерно 39% от всех отказов) [1, 2, 3], поэтому исследование надёжности двигателя современного автомобиля является **актуальной задачей**.

Целью исследования является анализ и определение состояния основных деталей дизельного двигателя в зависимости от пробега.

Один из основных документов, разрабатываемых заводом изготовителем – это конструкторская документация на детали с номинальными и предельными

размерами. Предельные размеры устанавливаются, когда дальнейшая эксплуатация приводит к отказу узла, агрегата и в целом автомобиля [4]. В таблице 1 приведены предельные значения износа цилиндропоршневой группы двигателя.

Таблица 1. Износ цилиндропоршневой группы от номинального до предельного размера

№ п/п	Наименование	Предельные размеры износа, мкм
1	Износ гильз цилиндров	240
2	Овальность гильз цилиндров	100
3	Радиальный износ верхнего компрессионного кольца	120

По износу деталей можно определить техническое состояние узла, агрегата и автомобиля в целом. Интенсивность износа детали зависит от таких основных факторов, как: конструктивные, эксплуатационные, технологические.

Конструктивные факторы – это номинальные размеры и формы, начальные зазоры и посадки, материалы, условия нагрузки и смазки сопрягаемых деталей узла.

К технологическим факторам относятся качество механической и термической обработки детали, технология изготовления и сборки узла, агрегата.

К эксплуатационным факторам относятся соблюдение требований эксплуатации, опыт водителя, периодичность и качество технического обслуживания, качество ремонта, качество применяемых эксплуатационных материалов и запасных частей.

При определении предельного износа цилиндропоршневой группы учитывается следующее:

- износ указанных деталей может привести к заклиниванию, которое в результате приведёт к более дорогостоящему ремонту двигателя;
- шум и вибрация, которые влияют на работу агрегата и автомобиля в целом, что приводит к выходу из строя других узлов и систем;
- несоблюдение нормативов допустимых выбросов вредных веществ с отработавшими газами;
- интенсивное изнашивание деталей, за счёт уменьшения защитного слоя.

Значительная доля затрат и простоев в ремонте приходится на двигатель (до 39 %), а основная доля отказов в нем – на цилиндропоршневую группу, подшипники коленчатого вала и турбокомпрессоры (до 69 %). Капитальный ремонт двигателя является дорогой и трудоёмкой работой. Одна из главных причин высоких затрат – условия эксплуатации и ремонт двигателя, при котором затраты на устранение отказов в среднем в 8-10 раз выше, чем на их предупреждение [5, 6].

Как видно из статистики (табл. 2), наиболее частыми причинами ремонта двигателя являются такие неисправности, как: проворачивание вкладышей и износ деталей цилиндропоршневой группы [7, 8, 9].

Таблица 2. Распределение причин ремонта двигателя «КАМАЗ-740»

Причины поломки двигателя	Доля поломки, %
Проворачивание вкладышей	39
Износ деталей цилиндропоршневой группы	30
Прочие: разрушение головки блока цилиндров, разрушение блока цилиндров и др.	31

Таким образом, контролируя нижеперечисленные параметры двигателя системами диагностирования, можно прогнозировать остаточный ресурс двигателя (табл. 3).

Таблица 3. Предельные размеры технического состояния деталей и диагностические параметры дизельного двигателя грузового автомобиля

Показатели технического состояния	Предельные размеры
Износ шатунных шеек, мкм	40
Износ коренных шеек, мкм	50
Зазор в шатунных подшипниках, мкм	210
Зазор в коренных шатунных подшипниках, мкм	210
Давление в системе смазки, МПа:	
при 2600 мин ⁻¹	0,35
при 600 мин ⁻¹	0,1
Износ гильз цилиндров, мкм	240
Овальность гильз цилиндров, мкм	100
Радиальный износ верхнего компрессионного кольца, мкм	120
Удельный расход масла на угар, %	2,5

Современные дизельные двигатели грузового автомобиля имеют рабочий объем от 11,8 до 12,88 л, диаметр цилиндра (гильзы) от 126 мм до 135 мм, ход поршня от 144 мм до 166 мм. Мощность таких двигателей от 380 л.с. до 750 л.с.

Диагностические параметры при износе деталей цилиндропоршневой группы таких двигателей до предельного состояния имеют следующие значения: расход масла на угар – более 6%, давление картерных газов – более 1,4 кПа; расход картерных газов – более 250 л/мин.

Техническое состояние агрегатов и узлов определяется структурными параметрами Y , в качестве которых выбираются размеры деталей, зазоры в сопряжениях, люфты. С увеличением наработки структурные параметры изменяются от номинального Y_n до предельного значения Y_p . На рис. 1 представлена схема определения остаточного ресурса сопряжённых деталей.

Исходя из данной схемы, остаточный ресурс вычисляется как разность полного ресурса и текущего пробега

$$L_{\text{ост}} = L_p - L_i = (Y_p - Y_i) / \bar{a}, \quad (1)$$

где L_p – полный ресурс агрегата; L_i – текущий пробег, тыс. км; Y_p – предельное значение параметра технического состояния; Y_i – текущее значение параметра технического состояния; $\bar{a}$ – средняя интенсивность изменения структурного параметра в рассматриваемом интервале.

Средняя интенсивность изменения структурного параметра определяется по формуле

$$\bar{a} = (Y_i - Y_{i-1}) / \Delta l, \quad (2)$$

где Δl – периодичность измерений структурного параметра, тыс. км; Y_{i-1} – значение структурного параметра при предыдущем измерении.

Трудностью реализации данного подхода на практике является невозможность измерения структурных параметров без разборки двигателя и необходимость достаточно частого контроля. К тому же интенсивность изменения

технического состояния не имеет постоянного значения в жизненном цикле агрегата.

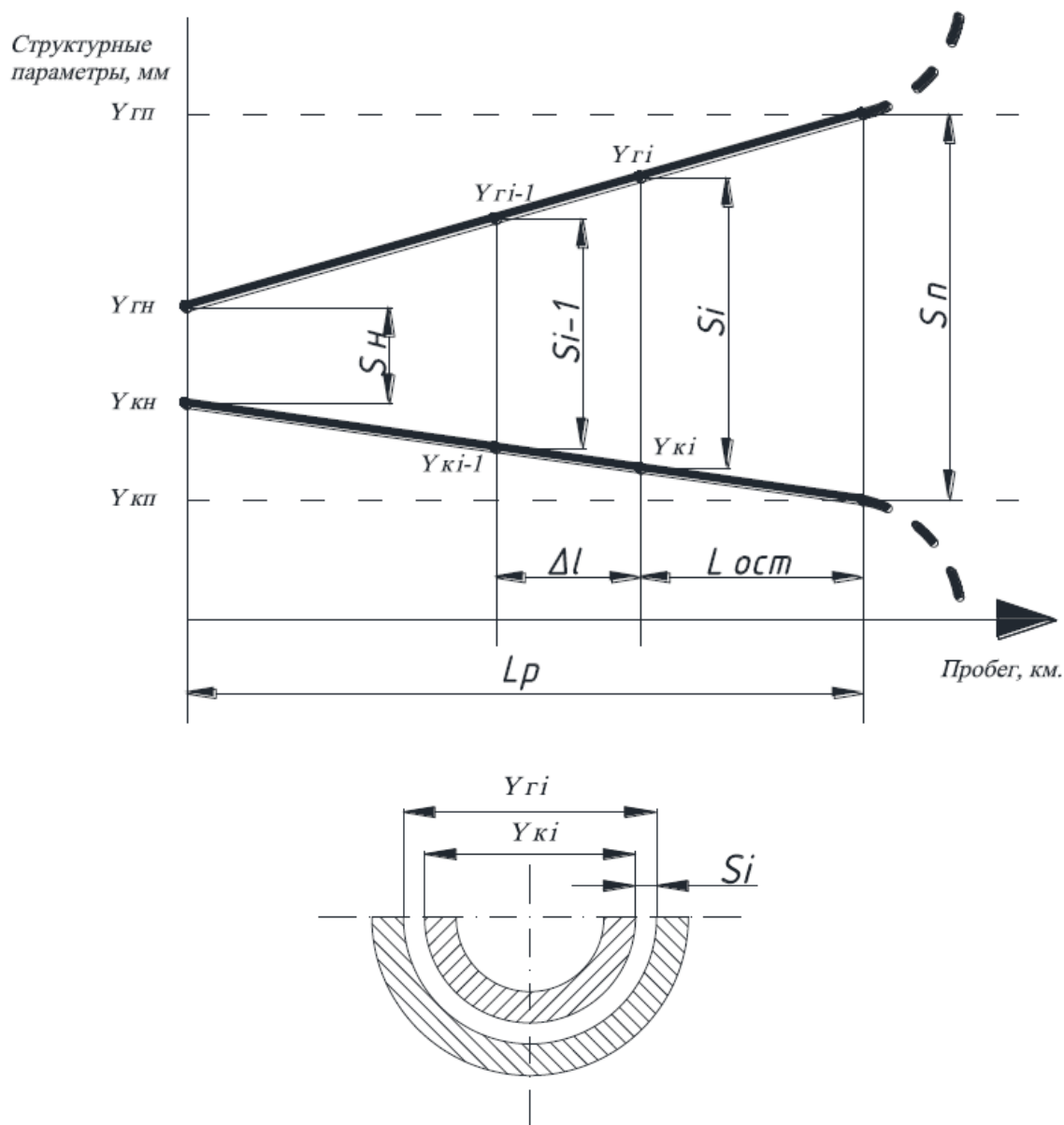


Рис. 1. Схема определения остаточного ресурса сопряжённых деталей

Для постоянного контроля параметров технического состояния агрегат необходимо оснащать бортовой системой диагностирования. Остаточный ресурс агрегата при оценке бортовой системой диагностирования определяется, используя зависимость

$$L_{ост} = (S_{п} - S_i) / \bar{b} , \quad (3)$$

где S_{Π} – предельное значение диагностического параметра; S_i – текущее значение диагностического параметра; $\bar{b}$ – средняя интенсивность изменения диагностического параметра в рассматриваемом интервале.

Средняя интенсивность изменения диагностического параметра

$$\bar{b} = (S_i - S_{i-1})/\Delta l, \quad (4)$$

где Δl – периодичность измерений диагностического параметра, тыс. км; S_{i-1} – значение диагностического параметра при предыдущем измерении.

Аналогичным образом получаются формулы для тех диагностических параметров, которые снижаются при увеличении пробега с начала эксплуатации

$$L_{\text{ост}} = (S_i - S_{\Pi})/\bar{b} \quad (5)$$

$$\bar{b} = (S_{i-1} - S_i)/\Delta l. \quad (6)$$

Возникает задача установления связи между диагностическими и структурными параметрами, т.е.

$$S_{\text{H}} \rightarrow Y_{\text{H}}, \quad S_{\Pi} \rightarrow Y_{\Pi}, \quad S_i \rightarrow Y_i.$$

Величина предельных значений диагностического параметра устанавливается проведением исследований с учетом критичности состояния агрегата по безопасности дорожного движения, экологичности или экономичности автомобиля.

На скорость изнашивания сопряжений силовых агрегатов существенное влияние оказывают эксплуатационные факторы, к основным из которых относятся: полная масса автомобиля, средняя техническая скорость движения, климатические условия, качество технического обслуживания, ремонта и др.

Принципы работы бортовых систем диагностирования исследованы отечественными и зарубежными авторами [10–13].

Полученная информация от датчиков, установленных в двигателе автомобиля, поступает оператору по следующей схеме (рис. 2).

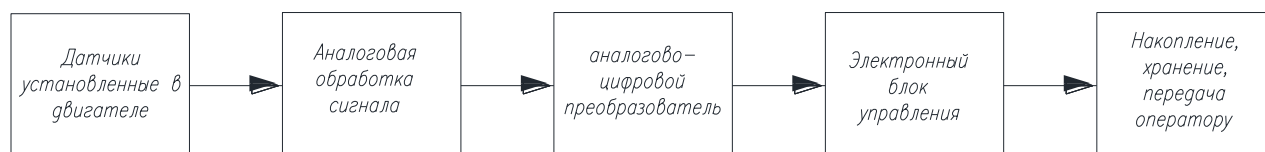


Рис. 2. Блочная схема контроля параметров двигателя

Датчики, установленные в двигателе, по каналу передают анализируемые процессы в блок обработки результатов (аналоговая обработка сигнала), затем в аналогово-цифровой преобразователь, где сигналы низкой мощности преобразуются в сигналы такой мощности, которая необходима для электронного блока управления (микроконтроллер, самопроверка); после проверки достоверности полученной информации начинается процесс накопления, хранения, а при необходимости – процесс передачи оператору. В зависимости от контролируемых параметров схема может отличаться.

Бортовые системы диагностирования позволяют постоянно контролировать техническое состояние агрегата (двигателя), обеспечивая надёжность и снижая возможность сходов автомобиля с линии. Такая система даёт возможность более рационально корректировать техническое обслуживание и ремонт автомобиля, качество выполненных работ и качество используемых эксплуатационных материалов, а также знать остаточный ресурс двигателя.

В соответствии с проведённым исследованием надёжности дизельных двигателей можно утверждать, что собрав информацию о контролируемых параметрах (например: расход масла на угар, давление картерных и расход картерных газов) для бортовой системы диагностирования при эксплуатации грузового автомобиля, можно оценить изменения технического состояния деталей двигателя и определить остаточный ресурс.

Список использованных источников

1. Филькин Н.М. Сбор информации для бортовых систем диагностирования о техническом состоянии двигателя при эксплуатации грузового автомобиля / Н.М.

Филькин, Р.М. Галиев, Ф.Л. Назаров, Р.А. Хафизов // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. - Ижевск, 2019. - Т.22, №2. – С. 58-64.

2. Баженов Ю.В. Исследование работоспособности двигателей в условиях эксплуатации / Ю.В. Баженов, М.Ю. Баженов // Актуальные проблемы эксплуатации автотранспортных средств: материалы XVIII Междунар. науч. практ. конф. (24 -25 нояб. 2016 г.). - Владимир: Аркаим, 2016. - С.18-23.

3. Engalychev R.N, Kulakov A.T, Barylnikova E.P, Talipova I.P, Decrease in the Transport Process Indicators Due to Wear of the Elements of the Power Unit of the Truck // International Journal of Engineering Research and Technology. - 2021. - Vol.13, Is.12. - P.4421 - 4426.

4. Азаматов Р.А. Восстановление деталей автомобилей КамАЗ / Р.А.Азаматов, В.Г.Дажин, А.Т.Кулаков, А.И.Модин. – Набережные Челны: КамАЗ, 2004. – 215 с.

5. Калимуллин Р.Ф. Разработка диагностического обеспечения подшипников коленчатых валов автомобильных двигателей//Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. № 5 (64). С. 101-108.

6. Макарова И. В. Диагностирование и оперативный контроль остаточного ресурса узлов и агрегатов автомобиля / И. В. Макарова, А. Т. Кулаков, Э. М. Мухаметдинов, Л. М. Габсалихова, А. В. Васильев // Транспорт: наука, техника, управление. 2018. № 2. С. 54–60.

7. Кулаков А.Т., Денисов А.С. Нестабильность зазоров в шатунных подшипниках из-за образования прогиба вкладышей // Вестник Саратовского гос. тех. ун-та. 2006. С. 83–91.

8. Денисов А.С., Кулаков А.Т., Гафиятуллин А.А. Оценка неразрывности потока масла к шатунным подшипникам двигателя // Проблемы транспорта и транспортного строительства. Сб. науч. тр.. Саратов, 2005. С. 72–76.

9. Денисов А.С. Снижение износа подшипников коленчатого вала автотракторных двигателей // Матер. IV междунар. науч.-техн. конф. Пенз. гос. ун-т архит. и строит. Пенза, 2006. С. 105–110.

10. Кулаков А.Т., Мухаметдинов Э.М., Гарипов Р.И., Габсалихова Л.М. Разработка встроенной системы диагностирования сцепления для повышения надежности автомобилей // Транспорт: наука, техника, управление. 2018. № 4. С. 54–59.

11. Aastha Yadav. Security, Vulnerability and Protection of Vehicular On-board Diagnostics. International Journal of Security and Its Applications, 2016, vol. 10, №. 4, pp. 405–422.

12. Fong B. A prognostics framework for reliability optimization of mass-produced vehicle onboard diagnostics system. 4th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE). IEEE, 2015, pp. 408–409.

13. Денисов А.С. Разработка алгоритма бортового диагностирования смазочной системы автомобильного двигателя / А.С. Денисов, А.Т. Кулаков, Д.И. Нуретдинов, З.А. Аюкин, Ф.Л. Назаров // Научно-технический вестник Поволжья. - 2020. - №3. - С. 113-116.

Galiyev R.M., candidate of technical Sciences, assistant professor, Naberezhnye Chelny Institute of Kazan (Volga region) Federal University

Nuretdinov D.I., candidate of technical Sciences, assistant professor, Naberezhnye Chelny Institute of Kazan (Volga region) Federal University

Nazarov F.L., 4th year postgraduate student, Naberezhnye Chelny Institute of Kazan (Volga region) Federal University

RESEARCH OF RELIABILITY OF DIESEL ENGINES OF INTERNAL COMBUSTION OF A CARGO VEHICLE

Abstract: The article discusses the design and diagnostic parameters that determine the reliability of diesel internal combustion engines. The factors influencing the technical condition of the cylinder-piston group of the engine, the types and causes of failures are presented. Approaches to the diagnosis of modern diesel engines are proposed.

Key words: internal combustion engine, reliability, cylinder-piston group, diagnostics