

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.142.55>

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВЫХ ЗАЗОРОВ МЕХАНИЗМА ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ НА ВЕЛИЧИНУ И ФОРМУ СИГНАЛА РАСХОДА ВОЗДУХА СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ КОЛЕСНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Научная статья

Яковчук П.С.^{1,*}, Кривцов С.Н.², Бычков А.К.³, Чернявский Д.В.⁴

¹ ORCID : 0009-0009-8192-4953;

² ORCID : 0000-0003-0462-8455;

³ ORCID : 0009-0009-0520-1411;

⁴ ORCID : 0009-0009-3296-3665;

¹ Дилерский центр Jaguar/Land Rover, Иркутск, Российская Федерация

^{1,2} Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Российская Федерация

³ Байкал-АвтоТрак-Сервис, Иркутск, Российская Федерация

⁴ К-Сервис Иркутск, Иркутск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (pashajakovchuk[at]mail.ru)

Аннотация

Статья посвящена изучению вопроса о влиянии тепловых зазоров клапанов механизма газораспределения на величину и форму сигнала массового расхода воздуха. Актуальность обусловлена тем, что в процессе эксплуатации транспортных средств, оборудованных двигателями внутреннего сгорания в качестве основной силовой установки, необходим периодический контроль технического состояния отдельных элементов и узлов, значительно влияющих на технико-экономические и экологические показатели. Для этой цели предлагается периодически анализировать сигнал датчика массового расхода воздуха колесного транспортного средства, и, на этой основе, делать заключение о наполнении цилиндров воздухом (зарядом) и необходимости выполнения регулировочно-обслуживающих воздействий.

Исследование влияния теплового зазора клапанов на величину и форму сигнала расхода воздуха проводилось на дизельном двигателе TD-27 в условиях лаборатории технической эксплуатации, кафедры автомобильного транспорта ИРНИТУ. Установлено, что измерения массового расхода воздуха возможны как с функционирующей принудительной системой вентиляции картера, так и при изоляции патрубка отвода картерных газов от воздушного тракта, а также что величина значения тепловых зазоров механизма газораспределения влияет на величину и форму сигнала массового расхода воздуха, имея максимум в диапазоне регулировок, рекомендуемых технической документацией, и отличаясь более чем на 5% при регулировках в большую и меньшую стороны.

Ключевые слова: рабочий процесс, механизм газораспределения, тепловой зазор, транспортное средство, техническая эксплуатация.

INFLUENCE OF THERMAL GAPS OF THE GAS DISTRIBUTION MECHANISM ON THE MAGNITUDE AND SHAPE OF THE AIR FLOW SIGNAL OF THE POWER UNIT OF A WHEELED VEHICLE

Research article

Yakovchuk P.S.^{1,*}, Krivtsov S.N.², Bichkov A.K.³, Chernyavskii D.V.⁴

¹ ORCID : 0009-0009-8192-4953;

² ORCID : 0000-0003-0462-8455;

³ ORCID : 0009-0009-0520-1411;

⁴ ORCID : 0009-0009-3296-3665;

¹ Jaguar/Land Rover dealership, Irkutsk, Russian Federation

^{1,2} Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation

³ Baikal-AutoTruck-Service, Irkutsk, Russian Federation

⁴ K-Service Irkutsk, Irkutsk, Russian Federation

* Corresponding author (pashajakovchuk[at]mail.ru)

Abstract

The article is dedicated to the study of the influence of thermal gaps of the valves of the gas distribution mechanism on the magnitude and shape of the mass air flow signal. Relevance is due to the fact that in the process of operation of vehicles equipped with internal combustion engines as the main propulsion system, it is necessary to periodically monitor the technical condition of individual elements and units that significantly affect the technical, economic and environmental performance. For this purpose, it is proposed to periodically analyse the signal of the mass air flow sensor of a wheeled vehicle, and, on this basis, to make a conclusion about the filling of cylinders with air (charge) and the need to perform adjustment and maintenance actions.

The study of the influence of thermal clearance of valves on the value and shape of the air flow signal was carried out on the TD-27 diesel engine in the conditions of the laboratory of technical operation, the Department of Automobile Transport of IRNITU. It has been established that mass air flow measurements are possible both with a functioning forced crankcase ventilation system and with the isolation of the crankcase gas exhaust pipe from the air path, and also that the value of the thermal clearances of the gas distribution mechanism affects the magnitude and shape of the mass air flow signal, having a

maximum in the range of adjustments recommended by the technical documentation, and differing by more than 5% at adjustments to the larger and smaller sides.

Keywords: operating process, timing mechanism, thermal clearance, vehicle, technical operation.

Введение

Автомобили с двигателем внутреннего сгорания по-прежнему остаются наиболее распространенным видом транспорта для перевозки людей и грузов в России. С учетом специфики и протяженности дорог существуют основания полагать, что в ближайшей перспективе такие автомобили не будут существенно заменены на электрические или использующие водород и электричество [1].

В ходе эксплуатации автомобиля существует вероятность ухудшения технического состояния отдельных систем и компонентов. Некоторые из узлов двигателя при этом являются обслуживаемыми по достижении определенной наработки, другие системы и вовсе являются лимитирующими работоспособность и/или ресурс всего двигателя [2]. К последним относится, например, цилиндро-поршневая группа (ЦПГ). Ее техническое состояние значительно влияет на технико-эксплуатационные и экологические показатели автомобиля [3]. Другой механизм двигателя внутреннего сгорания - механизм газораспределения (МГР), является обслуживаемым (замена приводного ремня/цепи, регулировка тепловых зазоров клапанов и др.). Как правило, периодичность обслуживания систем и механизмов, в том числе МГР назначается заводом-изготовителем с учетом опыта и особенностей эксплуатации [4], [5]. В то же время, поскольку условия эксплуатации различаются очень значительно, даже в пределах одной климатической зоны, многими исследователями предлагается назначать ремонтно-обслуживающие воздействия по результатам диагностирования [6], [7].

Безусловный приоритет с точки зрения диагностирования принадлежит бортовым системам самодиагностики. Однако, они еще недостаточно совершенны. В частности, они на сегодняшний момент не позволяют оценить степень изношенности ЦПГ или выявить потребность в регулировке тепловых зазоров МГР [8], [9]. Между тем, нами выдвинута гипотеза о том, что техническое состояние перечисленных выше систем отразится на величине и форме сигнала одного из самых важных датчиков системы управления двигателем – датчика массового расхода воздуха (ДМРВ). Ресурс таких датчиков сопоставим с ресурсом двигателя в целом, и для сложных условий эксплуатации математическое ожидание отказа составляет 281,1 тыс. км пробега [10].

Современные автомобили, в том числе с дизельными двигателями, имеют сложные системы управления, содержащие комплекс датчиков и исполнительных механизмов, а также электронный блок управления. Одним из наиболее важных датчиков является датчик массового расхода воздуха (ДМРВ), т.к. его показания непосредственно влияют на эксплуатационные свойства автомобилей, в частности, топливную экономичность, тягово-скоростные свойства, дымность отработавших газов и т.д. [11].

В ходе эксплуатации автомобиля существует вероятность нарушения его функционирования из-за сбоев в работе отдельных систем и компонентов. Например, при разрегулировке клапанов, двигатель может работать некорректно или перейти в аварийный режим, что неизбежно приведет к снижению его эффективности [12]. Вследствие этого происходит и ухудшение экологических норм двигателя, а также повышение расхода топлива [13]. Поэтому нужно уделять повышенное внимание к выявлению неправильного теплового зазора клапанов.

Для изменения тепловых зазоров МГР с увеличением пробега есть определенные причины. В случае впускных клапанов, основной причиной является износ металлических деталей – кулачка и толкателя. Этот процесс происходит очень медленно. В случае выпускных клапанов, ситуация несколько иная. Под воздействием горячих выхлопных газов происходит выгорание поверхности клапана и его седла, что приводит к уменьшению теплового зазора и иногда к прогару. Изменение тепловых зазоров влияет также на наполнение цилиндров и фазы открытия клапанов [14].

Методы и принципы исследования

Исследование влияния теплового зазора клапанов на величину и форму сигнала расхода воздуха проводилось в условиях лаборатории технической эксплуатации, кафедры автомобильного транспорта. В качестве объекта для проведения экспериментов выступил двигатель TD27, изображен на рис. 1.



Рисунок 1 - Общий вид экспериментальной установки
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.142.55.1>

В качестве оборудования был использован осциллограф autoscope 4, ноутбук, изображено на рис.2 и рис.3. Для обработки полученных данных использовалась программа filtering KYD (далее «программа»), написанная своими силами, имеющая патент №2022680578.

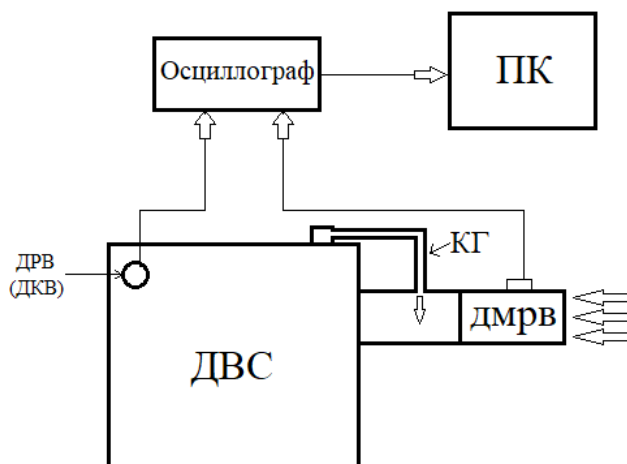


Рисунок 2 - Структурная схема измерительного комплекса
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.142.55.2>

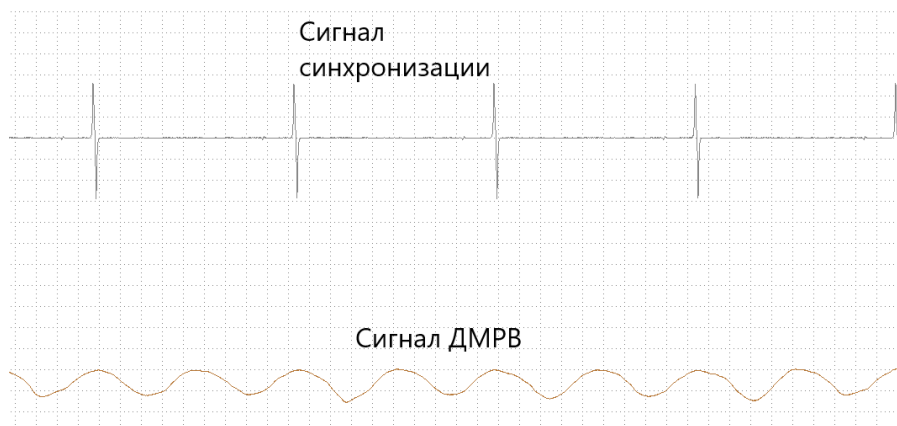


Рисунок 3 - Записанные сигналы синхронизации и ДМРВ для дальнейшей обработки
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.142.55.3>

В табл.1 сведены характеристики двигателя, на котором производились эксперименты.

Таблица 1 - Характеристики двигателя TD-27

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.142.55.4>

Характеристика	Значение
Конструкция блока цилиндров	Рядная
Рабочий объем, см ³	2663
Число цилиндров	4
Диаметр цилиндра, мм	96
Ход поршня, мм	92
Степень сжатия	22
Тип камеры сгорания	Вихрекамерная
Мощность, кВт	62,5 (при 4000 об/мин)
Крутящий момент, Н·м	216 (при 2400 об/мин)

Графики зависимости расхода картерных газов получали следующим образом:

1. Двигатель приводился в рабочее состояние, клапана отрегулированы согласно технической документации 0,25мм впуск, 0,25мм выпуск. Для этого температура двигателя выставлялась по шкале WARM, снималась крышка клапанов, выставлялась ВМТ и с помощью измерительных щупов выставлялись зазоры в паре «коромысло/клапан». Сборка выполнялась в обратной последовательности.

2. Мотор выводился на рабочую температуру, записи осциллограммы производились на холостом ходу (800 об/мин \pm 50 об/мин). Один канал осциллографа на канал синхронизации (в данном случае это ДПКВ), второй канал к сигнальному проводу ДМРВ. Продолжительность измерения составляет в среднем от 5 до 10 секунд работы двигателя, данные усредняются и представляются на графике одним циклом.

3. Сначала производились записи данных при полностью исправном моторе с подключенной системой вентиляции картера к впускной магистрали подачи воздуха и без. После чего поочередно производилось отключение подачи топлива в цилиндр с помощью ослабления гайки топливной с форсунки.

4. Пункты 1-3 повторялись при выставлении тепловых зазоров 0,05 мм и 0,5 мм.

5. Тепловые зазоры менялись только на 1-м цилиндре, с условием, что остальные цилиндры отрегулированы согласно технической документации 0,25 мм.

Получившиеся данные в объеме 34 записей, были обработаны «программой», после чего построены графики.

В дальнейшем графики, полученные в ходе обработки накладывались друг на друга. В каждом сравнении находилась разность.

Анализ параметров сигналов проводился для двух случаев – при функционирующей замкнутой системе вентиляции картера и при изоляции патрубка сапуна от впускного тракта.

Основные результаты

Для оценки результатов о влиянии тепловых зазоров механизма газораспределения серия экспериментов выполнялась с замкнутой функционирующей системой вентиляции картера, так и с выпуском картерных газов в атмосферу. Эти варианты рассматривались поскольку оба случая имеют место быть в эксплуатации, а заодно проверялось влияние потока картерных газов или его изоляции от воздушного тракта на чувствительность и конечную форму сигнала.

Разность расхода картерных газов двигателя TD27 с подключенной и отключенной системой, при тепловых зазорах 0,25мм, составила 5,67%, см. рис.4.

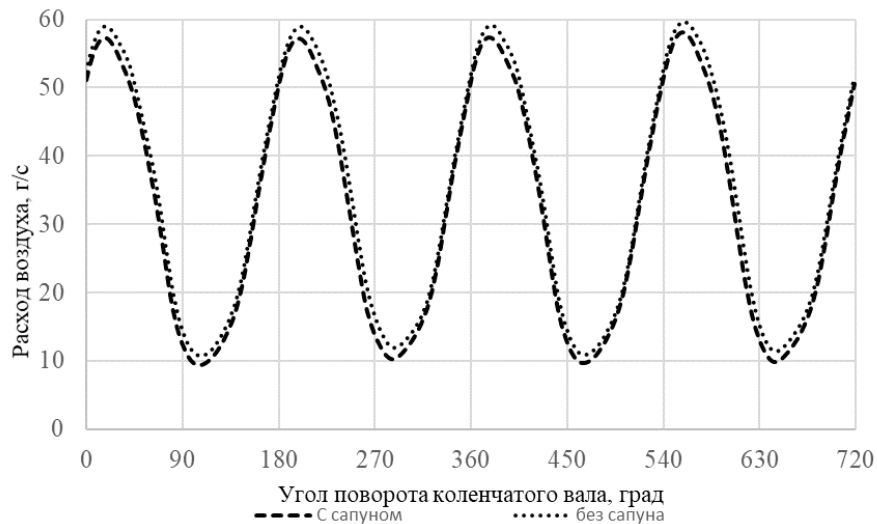


Рисунок 4 - График зависимости расхода воздуха с сапуном и без него с тепловыми зазорами 0,25 мм
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.142.55.5>

Разность расхода картерных газов двигателя TD27 с подключенной и отключенной системой, при тепловых зазорах 0,05 мм, составила 6,69 %, что на 1,02 % больше, см. рис.5.

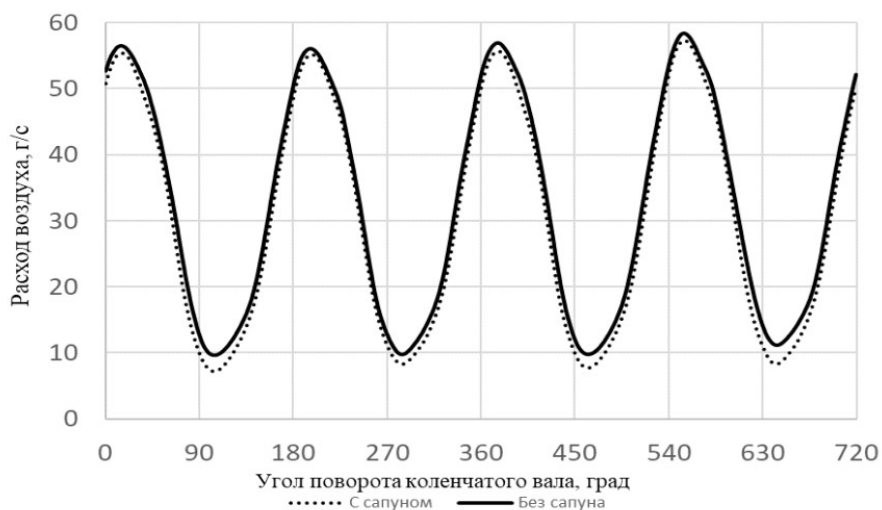


Рисунок 5 - График зависимости расхода воздуха с сапуном и без него с тепловыми зазорами 0,05 мм
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.142.55.6>

Разность расхода картерных газов двигателя TD27 с подключенной и отключенной системой, при тепловых зазорах 0,5 мм, составила 6,06 %, что на 0,37 % больше чем при тепловом зазоре 0,25 мм и на 0,63 % меньше, чем при зазоре 0,05 мм, см. рис.6.

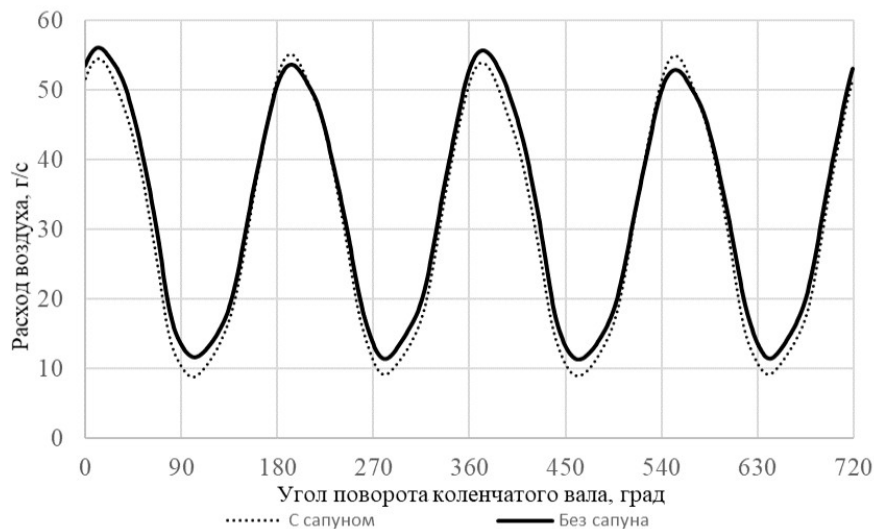


Рисунок 6 - График зависимости расхода воздуха с сапуном и без него с тепловыми зазорами 0,5 мм
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.142.55.7>

Исходя из полученных данных можно сделать вывод: при увеличении или уменьшении теплового зазора от оптимального (заявленным заводом изготовителем), наполнение цилиндров воздухом снижается. Правильно отрегулированный тепловой зазор приводит к наибольшему наполнению, при этом общая форма графика остается неизменной. Таким образом, правильность регулировки клапанов механизма газораспределения можно определить по общей величине расхода воздуха на данном режиме, например, холостого хода. Он является достаточно стабильным для одной марки двигателя и расход воздуха на этом режиме является справочной величиной для сравнения.

Все полученные значения зависимости расхода картерных газов от разрегулировки клапанов с сапуном и без сапуна сведены в табл. 2.

Таблица 2 - Таблица зависимости расхода картерных газов от разрегулировки клапанов

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.142.55.8>

Тепловой зазор клапанов, мм	Расход воздуха, г/с				Относительная разность, %
	С сапуном		Без сапуна		
	абсолютный	относительный	абсолютный	относительный	
0,05	30,29	93,7	32,46	94,8	6,69
0,25	32,30	100	34,24	100	5,67
0,50	30,59	94,7	32,56	95	6,06

На рис.7 и рис.8 изображен график изменения расхода картерных газов при выставленных зазорах отличных от номинальных в первом цилиндре, 0,05мм и 0,5мм указывает нам на то, что наполнение снижается во всех цилиндрах, но больше в 1 цилиндре, форма сигнала остается по прежнему неизменной.

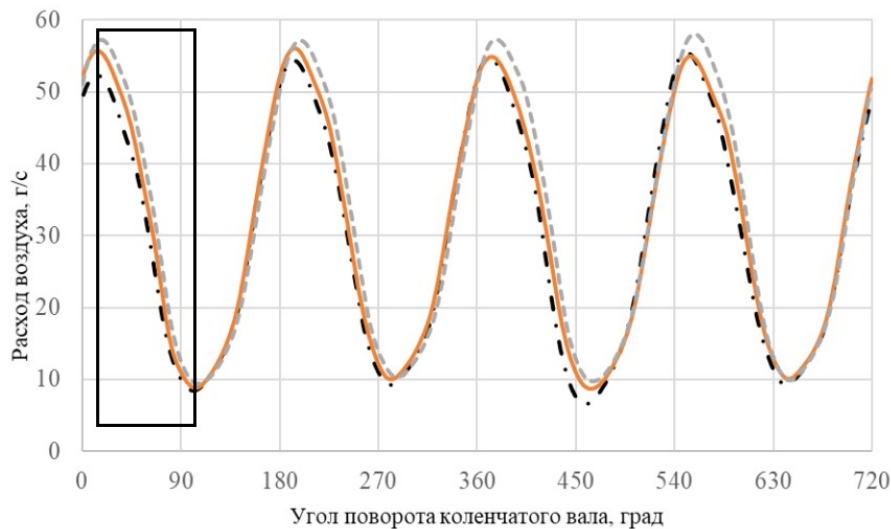


Рисунок 7 - График зависимости расхода воздуха с сапуном, с тепловыми зазорами первого цилиндра 0,05 мм (выделенная область) а остальными 0,25 мм
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.142.55.9>

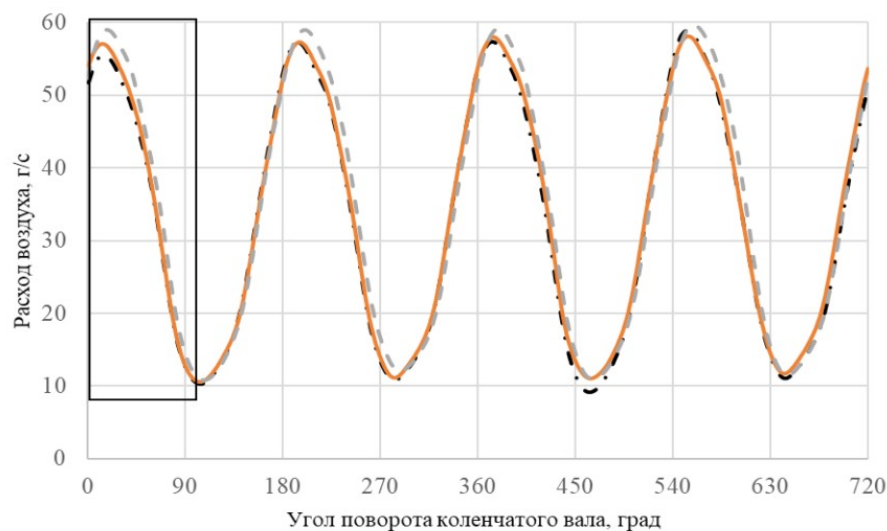


Рисунок 8 - График зависимости расхода воздуха без сапуна, с тепловыми зазорами первого цилиндра 0,5 мм (выделенная область), а остальными 0,25 мм
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.142.55.10>

Заключение

1. Величина значения тепловых зазоров механизма газораспределения влияет на величину и форму сигнала массового расхода воздуха, имея максимум в диапазоне регулировок, рекомендуемых технической документацией, и отличаясь более чем на 5% при регулировках в большую и меньшую стороны.
2. Измерения массового расхода воздуха возможны как с функционирующей принудительной системой вентиляции картера, так и при изоляции патрубка отвода картерных газов от воздушного тракта.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Маняшин А.В., Тюменский Индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.142.55.11>

Conflict of Interest

None declared.

Review

Manyashin A.V., Tyumen Industrial University, Tyumen, Russian Federation
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.142.55.11>

Список литературы / References

1. Зленко М.А. "Quo vadis?". Размышления о развитии автомобильных силовых агрегатов в свете грядущего энергетического перехода / М.А. Зленко, А.С. Теренченко // Автомобильная промышленность. — 2023. — 5. — с. 31-39.
2. Кривцов С.Н. Повышение информативности диагностирования технического состояния цилиндров дизельного двигателя в режиме холостого хода / С.Н. Кривцов // Вестник Иркутского государственного технического университета. — 2015. — 11. — с. 100-106.
3. Кривцов С.Н. Метод диагностирования цилиндропоршневой группы автомобильного двигателя / С.Н. Кривцов, П.С. Яковчук // Безопасность колесных транспортных средств в условиях эксплуатации / Под ред. В.С. Барадиева. — Улан-Удэ: Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, 2023. — Вып. 116. — с. 99-104.
4. Федотов А.И. Метод диагностирования привода газораспределительного механизма автомобильных ДВС по параметрам измерения давления во впускном коллекторе / А.И. Федотов, А.Л. Федоров // Особенности эксплуатации автотранспортных средств в дорожно-климатических условиях Сибири и Крайнего Севера / Под ред. А.С. Потапова. — Иркутск: Иркутский государственный технический университет, 2013. — с. 206-225.
5. Гребенников С.А. Диагностирование механизма газораспределения ДВС динамическим методом / С.А. Гребенников, А.С. Гребенников, М.Г. Петров и др. // Известия Волгоградского государственного технического университета. — 2012. — 12. — с. 59-63.
6. Кривцов С.Н. Сравнение диагностических параметров оценки герметичности надпоршневого пространства цилиндров дизельного двигателя при прокручивании стартером без подачи топлива / С.Н. Кривцов, А.В. Пукало, Т.И. Кривцова // Автомобильные инженеры. — 2015. — 6. — с. 54-57.
7. Гребенников С.А. Способ реализации динамического метода при диагностировании кривошипно-шатунного и газораспределительного механизмов ДВС / С.А. Гребенников, А.С. Гребенников, А.В. Рогожин // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники. — Саратов: Амирит, 2020. — Вып. 33. — с. 105-112.
8. Зенкова Н.И. Сравнительный анализ чувствительности способов оценки неплотности цилиндропоршневой группы ДВС / Н.И. Зенкова, А.Ю. Понизовский // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). — 2011. — 3. — с. 109-112.
9. Караулов А.В. Износ цилиндропоршневой группы и его влияние на выходные показатели сельскохозяйственных машин / А.В. Караулов, В.Е. Уланов // Идеи молодых ученых - агропромышленному комплексу: агроинженерные науки / Под ред. Н.С. Низамутдинова. — Челябинск: Южно-Уральский государственный аграрный университет, 2023. — с. 163-169.
10. Кривцов С.Н. Исследование эксплуатационной надежности датчиков массового расхода воздуха дизельных двигателей / С.Н. Кривцов, П.С. Яковчук // Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования / Под ред. В.Н. Хрянина, А.В. Пчельникова, В.В. Коротких и др. — Новосибирск: Издательский центр НГАУ «Золотой колос», 2023. — с. 64-70.
11. Емельянова А.И. Анализ результатов контроля датчиков массового расхода воздуха / А.И. Емельянова, А.А. Шайкемелов // Идеи молодых ученых - агропромышленному комплексу: агроинженерные науки / Под ред. Н.С. Низамутдинова. — Челябинск: Южно-Уральский государственный аграрный университет, 2023. — с. 145-151.
12. Гребенников С.А. Обоснование динамического способа диагностирования цилиндропоршневой группы ДВС / С.А. Гребенников, А.С. Гребенников, Г.О. Киселёв и др. // Актуальные вопросы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта / Под ред. А.А. Солнцева. — Москва: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, 2023. — Вып. 81. — с. 128-135.
13. Гриценко А.В. Результаты исследования цилиндропоршневой группы по расходу воздуха и топлива / А.В. Гриценко, С.А. Чокрой, Е.В. Малькова и др. // Современное состояние и перспективы развития технической базы агропромышленного комплекса / Под ред. А.Р. Валиева, Б.Г. Зиганшина, А.В. Дмитриева и др. — Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2023. — с. 556-564.
14. Пат. 23746132 Российская Федерация, МПК200714631506 C2. Способ диагностирования элементов газораспределительного механизма двигателей внутреннего сгорания и устройства для его осуществления / Мошкин Н.И.; — № 200714631506; заявл. 2007-12-13; опубл. 2009-11-27. — 14 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Zlenko M.A. "Quo vadis?". Razmyshlenija o razvitii avtomobil'nyh silovyh agregatov v svete grjadushego energeticheskogo perehoda ["Quo vadis?" Reflections on automotive powertrain development in light of the coming energy transition] / M.A. Zlenko, A.S. Terenchenko // Automotive industry. — 2023. — 5. — p. 31-39. [in Russian]
2. Krivtsov S.N. Povyshenie informativnosti diagnostirovanija tehničeskogo sostojanija tsilindrov dizel'nogo dvigatelja v rezhime holostogo hoda [Increasing the information content of diagnosing the technical condition of diesel engine cylinders in idle mode] / S.N. Krivtsov // Bulletin of Irkutsk State Technical University. — 2015. — 11. — p. 100-106. [in Russian]
3. Krivtsov S.N. Metod diagnostirovanija tsilindroporshnevoj grupy avtomobil'nogo dvigatelja [Method for diagnosing the cylinder-piston group of an automobile engine] / S.N. Krivtsov, P.S. Jakovchuk // Safety of wheeled vehicles under operating conditions / Ed. by V.S. Baradiev. — Ulan-Ude: East Siberian State University of Technology and Management, 2023. — Iss. 116. — p. 99-104. [in Russian]
4. Fedotov A.I. Metod diagnostirovanija privoda gazoraspredeitel'nogo mehanizma avtomobil'nyh DVS po parametram izmerenija davlenija vo vpusknom kollektore. [A method for diagnosing the gas distribution mechanism drive of automobile internal combustion engines using pressure measurement parameters in the intake manifold] / A.I. Fedotov, A.L. Fedorov //

Features of the operation of vehicles in the road and climatic conditions of Siberia and the Far North / Ed. by A.S. Potapov. — Irkutsk: Irkutsk State Technical University, 2013. — p. 206-225. [in Russian]

5. Grebennikov S.A. Diagnostirovanie mehanizma gazoraspredelenija DVS dinamicheskim metodom [Diagnosing the gas distribution mechanism of internal combustion engines using the dynamic method] / S.A. Grebennikov, A.S. Grebennikov, M.G. Petrov et al. // News of Volgograd State Technical University. — 2012. — 12. — p. 59-63. [in Russian]

6. Krivtsov S.N. Sravnenie diagnosticheskikh parametrov otsenki germetichnosti nadporshneвого prostranstva tsilindrov dizel'nogo dvigatelja pri prokruchivanii starterom bez podachi topliva [Comparison of diagnostic parameters for assessing the tightness of the above-piston space of diesel engine cylinders when cranked by the starter without fuel supply] / S.N. Krivtsov, A.V. Pukalo , T.I. Krivtsova // Automotive engineers. — 2015. — 6. — p. 54-57. [in Russian]

7. Grebennikov S.A. Sposob realizatsii dinamicheskogo metoda pri diagnostirovanii krivoshipno-shatunnogo i gazoraspre-delitel'nogo mehanizmov DVS [A method for implementing the dynamic method when diagnosing the crank and gas distribution mechanisms of internal combustion engines] / S.A. Grebennikov, A.S. Grebennikov , A.V. Rogozhin // Problems of efficiency and operation of automotive and tractor equipment. — Saratov: Amirit, 2020. — Iss. 33. — p. 105-112. [in Russian]

8. Zenkova N.I. Sravnitel'nyj analiz chuvstvitel'nosti sposobov otsenki neplotnosti tsilindroporshnevoj gruppy DVS [Comparative sensitivity analysis of methods for assessing the leakage of the cylinder-piston group of internal combustion engines] / N.I. Zenkova, A.Ju. Ponizovskij // Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). — 2011. — 3. — p. 109-112. [in Russian]

9. Karaulov A.V. Iznos tsilindroporshnevoj gruppy i ego vlijanie na vyhodnye pokazateli sel'skohozjajstvennyh mashin [Wear of the cylinder-piston group and its impact on the output performance of agricultural machines] / A.V. Karaulov, V.E. Ulanov // Ideas of young scientists - agro-industrial complex: agroengineering sciences / Ed. by N.S. Nizamutdinov. — Cheljabinsk: South Ural State Agrarian University, 2023. — p. 163-169. [in Russian]

10. Krivtsov S.N. Issledovanie ekspluatatsionnoj nadezhnosti datchikov massovogo rashoda vozduha dizel'nyh dvigatelej. [Study of the operational reliability of mass air flow sensors of diesel engines] / S.N. Krivtsov, P.S. Jakovchuk // State and innovation of technical service of machines and equipment / Ed. by V.N. Hrjanin, A.V. Pchel'nikov, V.V. Korotkih et al. — Novosibirsk: Publishing center of NGAU "Zolotoy Kolos", 2023. — p. 64-70. [in Russian]

11. Emel'janova A.I. Analiz rezul'tatov kontrolja datchikov massovogo rashoda vozduha [Analysis of monitoring results of mass air flow sensors] / A.I. Emel'janova , A.A. Shajkemelov // Ideas of young scientists - agro-industrial complex: agroengineering sciences / Ed. by N.S. Nizamutdinov. — Cheljabinsk: South Ural State Agrarian University, 2023. — p. 145-151. [in Russian]

12. Grebennikov S.A. Obosnovanie dinamicheskogo sposoba diagnostirovanija tsilindroporshnevoj gruppy DVS [Justification of the dynamic method for diagnosing the cylinder-piston group of internal combustion engines] / S.A. Grebennikov, A.S. Grebennikov, G.O. Kiselev et al. // Current issues of technical operation and maintenance of rolling stock of road transport / Ed. by A.A. Solntsev. — Moscow: Moscow Automobile and Road Engineering State Technical University, 2023. — Iss. 81. — p. 128-135. [in Russian]

13. Gritsenko A.V. Rezul'taty issledovanija tsilindroporshnevoj gruppy po rashodu vozduha i topliva [Results of a study of the cylinder-piston group on air and fuel consumption] / A.V. Gritsenko, S.A. Chokoj , E.V. Mal'kova et al. // Current state and prospects for the development of the technical base of the agro-industrial complex / Ed. by A.R. Valiev, B.G. Ziganshin, F.V. Dmitriev et al. — Kazan: Kazan State Agrarian University, 2023. — p. 556-564. [in Russian]

14. Pat. 23746132 Russian Federation, MPK200714631506 C2. Sposob diagnostirovanija elementov gazoraspre-delitel'nogo mehanizma dvigatelej vnutrennego sgoranija i ustrojstva dlja ego osuschestvlenija [A method for diagnosing elements of the gas distribution mechanism of internal combustion engines and devices for its implementation] / Moshkin N.I.; — № 200714631506; appl. 2007-12-13; publ. 2009-11-27. — 14 p. [in Russian]