

DOI: [10.34220/2311-8873-2024-123-133](https://doi.org/10.34220/2311-8873-2024-123-133)



УДК 656.13

UDC 656.13

2.9.5 – эксплуатация автомобильного транспорта

**АДАПТИВНО-УПРАВЛЯЕМЫЙ
МЕТОД КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО
СОСТОЯНИЯ ТОПЛИВНОЙ
АППАРАТУРЫ
И ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ
СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ
ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА**

**ADAPTIVE-CONTROLLED METHOD
FOR MONITORING THE TECHNICAL
CONDITION OF FUEL EQUIPMENT
AND CYLINDER-PISTON GROUP
OF A VEHICLE POWER UNIT**

Сафиуллин Равиль Нуруллович,
д.т.н., профессор кафедры ТТП и М, Санкт-Петербургский Горный университет, г. Санкт-Петербург.

Safiullin Ravil Nurulloviich,
doctor of technical sciences, professor of the department of TTP and M, St. Petersburg mining university, St. Petersburg.

Шаммазов Ильдар Айратович,
д.т.н., профессор кафедры ТХНГ, Санкт-Петербургский Горный университет, г. Санкт-Петербург.

Shammazov Ildar Airatovich,
doctor of technical sciences, professor of the department of THNG, St. Petersburg mining university, St. Petersburg.

Сафиуллин Руслан Равиллович,
к.т.н., доцент кафедры ТТП и М, Санкт-Петербургский Горный университет, г. Санкт-Петербург.

Safiullin Ruslan Ravillovich,
candidate of technical sciences, associate professor of the department of TTP and M, St. Petersburg mining university, St. Petersburg.

✉¹ **Сорокин Кирилл Владиславович,**
аспирант, Санкт-Петербургский Горный университет, г. Санкт-Петербург, e-mail: kiros_00@bk.ru

✉¹ **Sorokin Kirill Vladislavovich,**
postgraduate student, St. Petersburg mining university, St. Petersburg, e-mail: kiros_00@bk.ru

Мошников Антон Романович,
студент, Санкт-Петербургский Горный университет, г. Санкт-Петербург.

Moshnikov Anton Romanovich,
student, St. Petersburg mining university, St. Petersburg

Аннотация. Проведено теоретическое исследование существующих способов определения технического состояния топливной аппаратуры и давления в цилиндрах силовых установок, разработан алгоритм работы адаптивно-управляемого метода контроля технического состояния топливной аппаратуры и цилиндропоршневой группы силовой установки транспортного средства, который решает задачу синхронизации и контроля за работой топливной аппаратуры, в зависимости от

Annotation. A theoretical study of existing methods for determining the technical condition of fuel equipment and pressure in the cylinders of power plants was carried out, an algorithm was developed for the operation of an adaptive-controlled method for monitoring the technical condition of fuel equipment and the cylinder-piston group of a vehicle power plant, which solves the problem of synchronization and control of the operation of fuel equipment, depending on the pressure in the cylinders of the vehicle power plant. Based on the

давления в цилиндрах силовой установки транспортных средств. На основании адаптивно-управляемого метода контроля технического состояния топливной аппаратуры и цилиндропоршневой группы силовой установки транспортного средства разработано техническое решение – автоматизированная система контроля технического состояния топливной аппаратуры транспортного средства.

Ключевые слова: СИЛОВАЯ УСТАНОВКА, СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ, ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ, ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА.

adaptive-controlled method of monitoring the technical condition of the fuel equipment and the cylinder-piston group of the vehicle's power plant, a technical solution has been developed: Automated system for monitoring the technical condition of the vehicle's fuel equipment.

Keywords: POWER PLANT, FUEL EQUIPMENT CONDITION CONTROL SYSTEM, MAINTENANCE, VEHICLES.

¹ Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Повышение сложности конструкции транспортных средств (ТС) привело к увеличению расхода материалов и материальных средств для поддержания их в работоспособном состоянии. Это привело к созданию и переходу к прогрессивной системе технического обслуживания и ремонта (ТО и Р), основанной на определении фактического состояния узлов и агрегатов. При этом большая часть автомобильных предприятий продолжают работать по плано-предупредительной системе технического обслуживания и ремонта. Диагностирование в данной системе технического обслуживания производится только при первом и втором техническом обслуживании, а также ремонте. Помимо первого и второго технических обслуживаний, существует ежедневное обслуживание, но оно направлено на оценку общего состояния транспортного средства, а не на определение технического состояния конкретного агрегата. Исходя из этого при использовании данной системы технического обслуживания возрастает вероятность внезапных отказов в связи с отсутствием мониторинга изменения параметров агрегатов. Помимо перехода к прогрессивной системе технического обслуживания и ремонта транспортных средств происходит и развитие различных автоматизированных систем, датчиков, способных оперативно определять техническое состояние систем транспортных средств [1-3].

Одними из основных причин, приводящих к потере работоспособности транспортных средств, являются неисправности в силовой установке, а именно износ цилиндропоршневой группы (ЦПГ). На основе износа цилиндропоршневой группы необходимо корректировать и топливную систему, связанную с подачей топлива и синхронизации работу форсунок во время эксплуатации, так как вследствие данного износа увеличивается нагрузка на топливную систему и возрастает расход топлива из-за невозможности адаптации топливной системы под состояние ЦПГ. Исходя из этого для предотвращения возникновения внезапных отказов необходимо осуществлять постоянный мониторинг давления в цилиндрах двигателя, а также производить оперативный контроль работы форсунок и, при необходимости, синхронизировать их работу на самом транспортном средстве во время эксплуатации [4-6].

2 Материалы и методы

На основе информационного поиска авторами проведен анализ технических решений, применяемых для оценки цилиндропоршневой группы силовой установки и контроля топливной системы транспортных средств (рис. 1).



Рисунок 1 – Технические решения, применяемые для оценки цилиндропоршневой группы силовой установки и контроля топливной системы транспортных средств (составлено авторами)

Технические решения по определению состояния ЦПП:

1 При помощи компрессионного тестера. Данный способ заключается в установке компрессионного тестера в отверстие под свечу зажигания, после чего при помощи стартера прокручивается двигатель и регистрируется компрессия в каждом цилиндре двигателя. После чего происходит сравнение полученных показаний с номинальными значениями, указанными заводом-изготовителем.

2 Осмотр свечей зажигания. Последовательное наблюдение за состоянием свечей зажигания дает представление о состоянии давления в цилиндрах двигателя. Обильные слои нагара на свечах могут свидетельствовать о сгоревшем масле или топливе, что может указывать на проблемы в цилиндрах двигателя.

3 Использование датчика давления масла. Данный способ позволяет косвенно, на основании данных с датчика давления масла, определить давление в цилиндрах двигателя. На холостом ходу двигателя измеряется наличие давления масла, а также стабильность показаний датчика. Низкое или нестабильное давление масла может указывать на проблемы с давлением в цилиндрах двигателя. Данный способ очень неточный, поскольку давление масла зависит не только от давления в цилиндрах двигателя, но и от состояния масляного насоса, а также вязкости используемого масла в двигателе [7-9].

Технические решения по определению состояния топливной аппаратуры:

1 Визуальный осмотр: данный способ подразумевает проверку видимых повреждений, например, проверку на наличие трещин, утечек.

2 Использование специальных манометров: использование данного способа подразумевает установку специального манометра на форсунку и измерение давления топлива. Суть

данного метода заключается в определении давления топлива на высоких оборотах силовой установки и сравнение их с требованиями производителей.

3 Проведение процедуры балансировки форсунок. В ходе данного метода производится демонтаж форсунок, после чего при помощи прибора, например, М-108, производится сравнение рабочих характеристик каждой форсунки, на основании чего происходит выявление неоднородности в работе форсунок.

Данные технические решения не позволяют производить мониторинг и оперативный контроль состояния топливной аппаратуры и давления в цилиндрах силовой установки транспортных средств вследствие недостатков: сложность их реализации, большие трудозатраты, связанные с разбором узлов и агрегатов. Также существенным недостатком предложенных способов является невозможность корректировки топливной аппаратуры во время эксплуатации ТС в зависимости от изменения состояния цилиндропоршневой группы.

3 Результаты исследований

Для реализации системы ТО и Р транспортных средств по фактическому состоянию был разработан адаптивно-управляемый метод контроля технического состояния топливной аппаратуры и цилиндропоршневой группы силовой установки транспортного средства, основывающийся на показаниях разности давления топлива и давления впрыска топлива, позволяющий адаптировать работу форсунок и определять состояние силовой установки во время эксплуатации ТС. Основная задача адаптивно-управляемой системы – способность корректировать цикловой впрыск топлива и производить постоянную диагностику состояния цилиндропоршневой группы и форсунок, исходя из информации о давлении топлива, полученной и обработанной непосредственно на самом транспортном средстве [10-12].

Адаптивно-управляемый метод контроля технического состояния топливной аппаратуры и цилиндропоршневой группы силовой установки транспортного средства основывается на показаниях, получаемых с внедренного датчика дифференциального давления [7]. Датчик показывает разницу давления топлива в 2-х узлах транспортного средства: в камере распылителя топливной форсунки и в топливной рампе. Первичное давление топлива, создаваемое топливным насосом, соответствует давлению в топливной рампе F_T , давление в камере распылителя топливной форсунки обозначается F_ϕ . Для реализации данного метода необходимо получить давление F_K , создаваемое в камере сгорания. Для нахождения давления F_K необходимо, чтобы разница давления топлива в камере распылителя форсунки и в топливной рампе была равна давлению в камере сгорания [13-15]. Для нахождения F_K был разработан следующий алгоритм (рис. 2):

При применении алгоритма используются следующие расчеты:

Давление в камере распылителя топливной форсунки будет определяться давлениями F_T и F_K . Во время открытия форсунки поршень будет создавать противодействие (давление F_K) к давлению F_T . Соответственно:

$$F_\phi = F_T - F_K. \quad (1)$$

Датчик дифференциального давления представляет собой диафрагму, по разные стороны которой на нее действуют давления топлива F_ϕ и F_T . Пусть значение давления на выходе датчика дифференциального давления $F_{кд}$. В итоге получим:

$$F_{кд} = F_T - F_\phi = F_T - (F_T - F_K) = F_T - F_T + F_K = F_K. \quad (2)$$

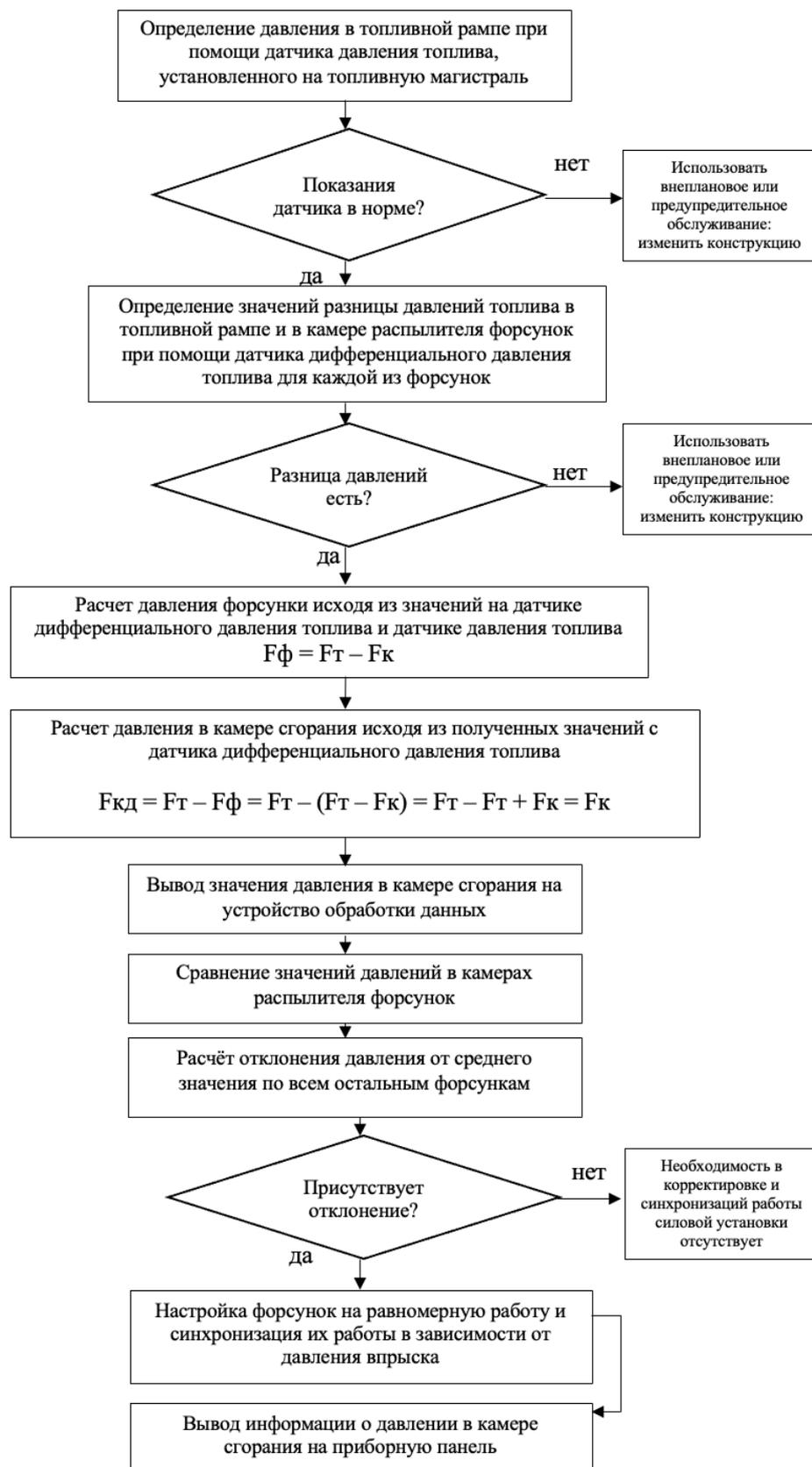
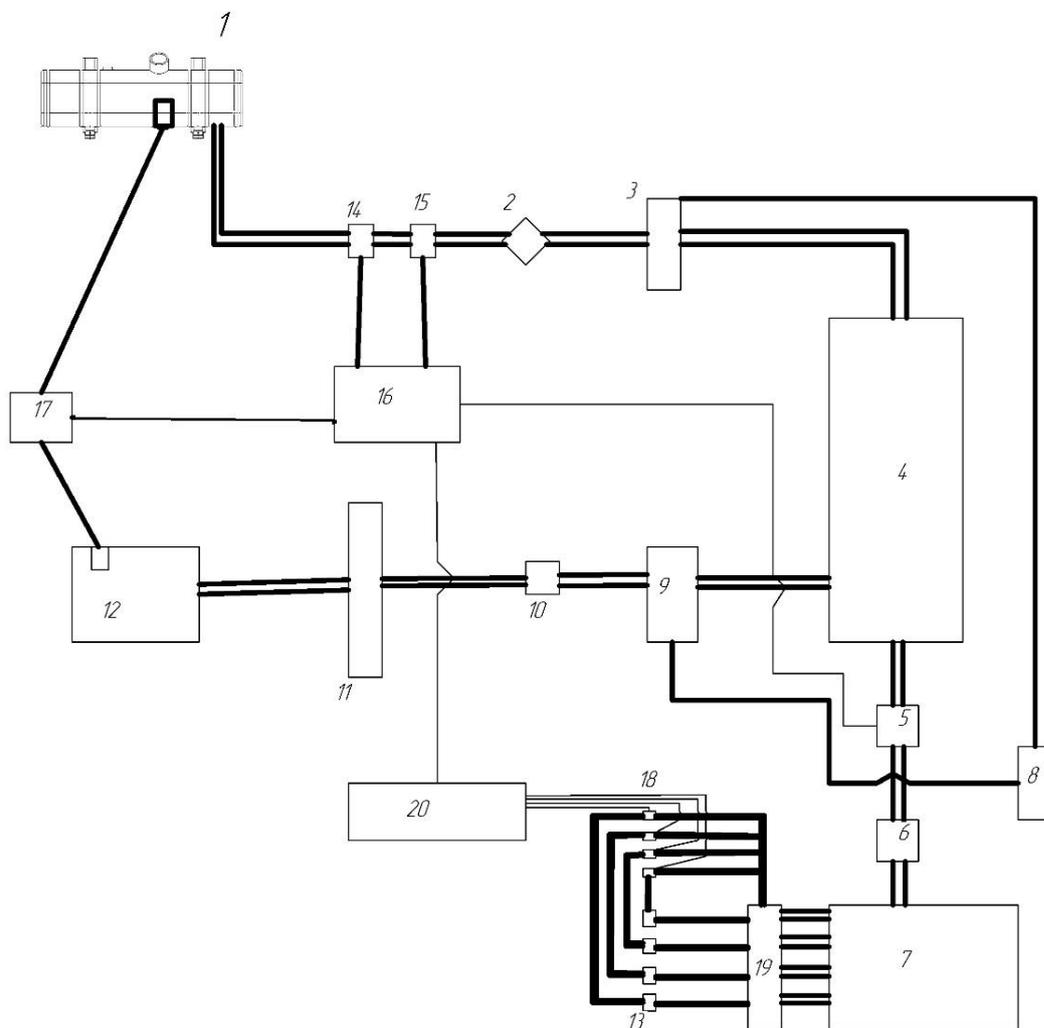


Рисунок 2 – Алгоритм работы адаптивно управляемого метода контроля технического состояния топливной аппаратуры и цилиндропоршневой группы силовой установки транспортного средства (составлено авторами)

Исходя из этого необходимое давление получено при помощи датчика дифференциального давления, поэтому отсутствует необходимость в проведении расчетов давления контроллером, так как на его вход уже приходит значение равное F_k . А основная роль контроллера заключается в сборе данных и последующем сравнении полученных значений с номинальными [16-18]. Схема патента на изобретение, основанного на данном методе, изображена на рис. 3.



1 – емкость с дизельным топливом; 2 – водный фильтр; 3 – топливный электромагнитный клапан; 4 – диспергирующее устройство ротационного типа; 5 – датчик определения процентного содержания присадки в топливе; 6 – фильтр тонкой очистки; 7 – топливный насос высокого давления; 8 – автоматическое регулировочное устройство; 9 – электромагнитный клапан; 10 – фильтр грубой очистки; 11 – топливо-подкачивающий насос; 12 – емкость с присадкой; 13 – форсунки; 14 – датчик контроля качества топлива; 15 – датчик температуры топлива; 16 – электронный блок оценки; 17 – датчик уровня топлива; 18 – датчик дифференциального давления топлива; 19 – топливный тракт; 20 – блок обработки измерений

Рисунок 3 – Автоматизированная система контроля технического состояния топливной аппаратуры транспортного средства (составлено авторами)

Автоматизированная система контроля технического состояния топливной аппаратуры транспортного средства отличается от прототипа тем, что для контроля технического состояния

силовой установки добавлены следующие элементы: топливная рампа, топливные форсунки, датчики дифференциального давления топлива, контроллер (блок обработки измерений).

Необходимое значение давления в камере сгорания создается в момент нахождения поршня в верхней мертвой точке, поэтому значения давления в любой другой момент работы двигателя не несут ценности. Для получения корректных данных о давлении в камере сгорания необходимо отсеять из множества значений только одно – значение давления в момент, когда поршень находится в ВМТ. Данная операция производится в контроллере системы. Отсеивание происходит при помощи данных, получаемых от модуля зажигания и датчика положения коленвала для бензиновых двигателей и датчика положения коленвала для дизельных двигателей [19-21].

Основной задачей является пропуск через контроллер системы значения давления, полученного в момент нахождения поршня в ВМТ, остальные данные опустить. Контроллер пропускает информацию о давлении в камере сгорания только во время циклов впрыска и сжатия топлива. На контроллер приходит информация о положении коленвала в данный момент, следовательно, в момент подхода поршня к точке ВМТ значение, полученное с датчика дифференциального давления, запоминается в контроллере как начальная точка измерения давления. Конечную точку необходимо рассчитать в контроллере, так как подача искры происходит раньше, чем поршень дойдет до ВМТ. Возможно создание 2-х вариантов систем. Первый вариант – время задержки после подачи искры берется с небольшим запасом, чтобы окончание замеров происходило после прохождения поршнем ВМТ. Контроллер отбирает максимальное значение в промежутке между начальной и конечной точкой замеров. Второй вариант – необходимо рассчитать момент, когда поршень будет находиться в ВМТ и контроллер будет пропускать последнее полученное значение. Первый вариант предпочтителен для бензиновых, так как является более простой системой. Для дизельных двигателей ввиду отсутствия системы зажигания, возможно использование только второго варианта. В итоге, полученное в контроллере значение подается на электронный блок управления силовой установки, которая делает вывод о её техническом состоянии [22].

Данная система также применена для диагностики топливной системы, в частности форсунок. Так как для каждой форсунки используется отдельный датчик дифференциального давления, то рассматривается давление топлива в камере распылителя отдельной форсунки, относительно остальных форсунок. При сильном отклонении значения, снятого на одном из датчиков, можно судить о неисправности форсунки. В случае если отклонение небольшое, возможно регулировать время подачи топлива или давление топлива, создаваемое топливным насосом. При регулировке времени подачи топлива, необходимо знать о давлении в камере распылителя форсунки. Для получения этого давления нужно использовать значения разности давления топлива в камере распылителя форсунки и топливной рампе, а также давление в топливном тракте (равное давлению в топливной рампе), полученное с датчика давления топлива:

$$F_{\phi} = F_T - F_{\text{кд}}. \quad (3)$$

Если значение давления в камере распылителя форсунки будет отличаться в большую сторону от остальных форсунок, то необходимо уменьшить время подачи топлива. Если же давления будут отличаться в меньшую сторону, то противодействие, создаваемое поршнем меньше. Поэтому необходимо увеличить объём подаваемого топлива форсункой (время подачи топлива) [22].

Вторым возможным вариантом будет регулировка давления топливным насосом. При отклонении значения давления топлива в камере распылителя форсунки, в момент ее работы, возможно изменение давления, создаваемого топливным насосом. Однако этот вариант имеет минусы – система является более сложной, так как в нее добавляется дополнительный элемент; при одновременной работе форсунок разных цилиндров, будет изменяться давление во всех одновременно работающих форсунках.

Апробация данного технического решения, в основе которого лежит адаптивно-управляемый метод контроля технического состояния топливной аппаратуры и цилиндропоршневой

группы силовой установки транспортного средства возможна при установке на реальную силовую установку датчика дифференциального давления топлива, который способен определять разницу давлений в каждой форсунке и топливной рампе. Это позволит определять техническое состояние силовой установки в режиме реального времени, а также снизить, предположительно на 10 %, годовой объём работ по техническому обслуживанию, включающий в себя работы по ТО-1, ТО-2, СО, ЕО:

$$T_{\text{ТО}} = K_{\text{год}} \cdot \left(\frac{t_{\text{ТО-1}}}{L_{\text{ТО-1}}} + \frac{t_{\text{ТО-2}} - t_{\text{ТО-1}}}{L_{\text{ТО-2}}} \right) + D_{\text{к}} \cdot \alpha_{\text{Т}} \cdot t_{\text{ЕО}} + 2 \cdot t_{\text{СО}}, \quad (4)$$

где $t_{\text{ТО-1}}$, $t_{\text{ТО-2}}$, $t_{\text{ЕО}}$, $t_{\text{СО}}$ – трудоемкости ТО-1, ТО-2, ЕО, СО, чел.ч; $L_{\text{ТО-1}}$, $L_{\text{ТО-2}}$ периодичность ТО-1 и ТО-2 соответственно, км; $K_{\text{год}}$ – годовой пробег, км; $D_{\text{к}}$ – число календарных рабочих дней в году, $\alpha_{\text{Т}}$ – коэффициент технической готовности.

4 Обсуждение и заключение

В ходе проведенного исследования были проанализированы способы по оценке технического состояния давления в цилиндрах силовой установки и контролю топливной аппаратуры силовых установок. На основании проведенных существующих способов по контролю технического состояния силовой установки был разработан алгоритм адаптивно-управляемого метода контроля технического состояния топливной аппаратуры и цилиндропоршневой группы силовой установки транспортного средства, который позволит:

- улучшить смесеобразование в цилиндрах двигателя;
- производить корректировку цикловой подачи топлива в силовую установку;
- производить диагностику топливной аппаратуры силовой установки;
- определять давление в цилиндрах силовой установки.

Разработанный метод лёг в основу предлагаемого технического решения – автоматизированной системы контроля технического состояния топливной аппаратуры транспортного средства, позволяющей производить оперативный контроль силовой установки транспортных средств. Разработанные теоретические и практические положения позволят повысить надежность и прогнозировать отказы транспортного средства, а также существенно снизить трудоемкость и время нахождения в простое транспортного средства.

Список литературы

- 1 Банди, Б. Методы оптимизации. Вводный курс: Пер. с англ. / Б. Банди. – М.: Радио и связь, 1988. – 128 с.
- 2 Гэри, М. Вычислительные машины и трудно решаемые задачи. Монография / М. Гэри, Д. Джонсон – М.: Мир, 1982. – 420 с.
- 3 Кондратьев, А. А. Барьеры внедренческих процессов ИТС // Сборник трудов Международной академии транспорта. – 2014. – № 17 – С. 89-95.
- 4 Сафиуллин Р. Н., Сафиуллин Р. Р., Ефремова В. А. Метод комплексной оценки бортовых информационно-управляющих систем на горных машинах // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 9-1. – С. 49–63. DOI: 10.25018/0236/1493/2023/91049.
- 5 Николаев, В. И. Системотехника: методы и приложения / В. И. Николаев, В. М. Брук. – Л.: Машиностроение, 1985. – 199 с.
- 6 Подиновский, В. В. Оптимизация по последовательно применяемым критериям / В. В. Подиновский, В. М. Гаврилов. – М.: Советское радио, 1975. – 192 с.
- 7 Патент № 2559299 С2 Российская Федерация, МПК G01L 9/00, G01D 3/028. датчик дифференциального давления: № 2013157288/28 : заявл. 24.12.2013 : опубл. 10.08.2015 /

Ю. Н. Тиняков, К. А. Андреев, Т. А. Цивинская, Д. В. Гуслиев ; заявитель Российская Федерация, от имени которой выступает Министерство промышленности и торговли Российской Федерации. – EDN ZADIRD.

8 Борисов, С. В., Колтунова Е. А., Кладиев С. Н. Совершенствование структуры имитационной модели тягового асинхронного электропривода рудничного электровоза // Записки Горного института. — 2021. — Т. 247. — С. 1–8. DOI: 10.31897/PMI.2021.1.12.

9 Бузмаков С. А., Санников П. Ю., Кучин Л. С., Игошева Е. А., Абдулманова И. Ф. Применение беспилотной аэрофотосъемки для диагностики техногенной трансформации природной среды при эксплуатации нефтяного месторождения // Записки Горного института. – 2023. – Т. 260. – С. 180-193. DOI: 10.31897/PMI.2023.22.

10 Назарычев А. Н., Дяченко Г. В., Сычев Ю. А. Исследование надежности тягового электропривода карьерных самосвалов на основе анализа отказов его функциональных узлов // Записки Горного института. – 2023. – Т. 261. – С. 363-373.

11 Курганов В. М., Грязнов М. В., Колобанов С. В. Оценка надежности функционирования экскаваторно-автомобильных комплексов в карьере // Записки Горного института. – 2020. – Т. 241. – С. 10. DOI: 10.31897/pmi.2020.1.10

12 Козярук А. Е., Камышьян А. М. Повышение энергетической эффективности электромеханической трансмиссии карьерного автосамосвала // Записки Горного института. – 2019. – Т. 239. – С. 576. DOI: 10.31897/pmi.2019.5.576.

13 Бааке Э., Шпенст В. А. Последние научные исследования по электротермическим металлургическим процессам // Записки Горного института. – 2019. – Т. 240. – С. 660-668. DOI: 10.31897/PMI.2019.6.660.

14 Махараткин П. Н., Абдулаев Э. К., Вишняков Г. Ю., Ботян Е. Ю., Пушкарев А. Е. Повышение эффективности функционирования карьерных автосамосвалов на основе обоснования их рациональной скорости с помощью имитационного моделирования // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 6(2). – С. 237-250. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_62_0_237.

15 Комаров, В. В. Интеллектуальные задачи телематических транспортных систем и интеллектуальная транспортная система / В. В. Комаров, С. А. Гараган // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2012. – Т. 6, № 4. – С. 34-38. – EDN PWPAPZ.

16 Сафиуллин, Р. Н. Методы внедрения систем удалённого диагностирования пассажирского транспорта в городских агломерациях / Р. Н. Сафиуллин, Р. Р. Сафиуллин, К. В. Сорокин // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2023. – № 4(66). – С. 18-24. – EDN FXOCET.

17 Афанасьев А. С., Евстафьев П. В., Сигин Д. В. Анализ разработок в сфере удаленного диагностирования на автомобильном транспорте // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №4(34), ISSN 2007-5687. – СПб.: ГУАП., 2022 – с. 103-108. РИНЦ. DOI: 10.31799/2077-5687-2022-4-103-108.

18 Won S. H., Haas F. M., Dooley S., Edwards T., & Dryer F. L. (2017). Reconstruction of chemical structure of real fuel by surrogate formulation based upon combustion property targets. *Combustion and Flame*, 183, 39–49. <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2017.04.032>.

19 Yu L., Zhao C., Liu S., & Di M. (2013). Alkane Influence of Combustion Products in Polyethylene and Gasoline. *Procedia Engineering*, 52, 566–570. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.02.186>.

20 Ramavath S., & Suryawanshi S. R. (2024). Optimal Prediction of Shear Properties in Beam-Column Joints Using Machine Learning Approach. *International Journal of Engineering*, 37(1), 67-82. doi: 10.5829/ije.2024.37.01a.07.

21 Ghaderi F., Toloei A., & Ghasemi R. (2024). Formation Control and Obstacle Avoidance of a Multi-Quadrotor System Based on Model Predictive Control and Improved Artificial Potential Field. *International Journal of Engineering*, 37(1), 115-126. doi: 10.5829/ije.2024.37.01a.11.

22 Патент РФ № 2792386, 24.01.2023. Сафиуллин Р.Н., Сафиуллин Р.Р., Унгефук А.А., Сорокин К.В., Тянь Хаотянь Автоматизированная система удаленной диагностики технического состояния транспортных средств на основе матричного QR-кода. 2023. Бюл. № 9.

23 Gaile A.A.; Vereshchagin A.V.; Klement'ev V.N. Refining of diesel and ship fuels by extraction and combined methods. Part 1. Use of ionic liquids as extractants. Russ. J. Appl. Chem. 2019,92, 453–475. DOI:10.1134/S1070427219040013.

24 Gaile A.A.; Vereshchagin A.V.; Klement'ev V.N. Refining of diesel and ship fuels by extraction and combined methods. Part 2. Use of organic solvents as extractants. Russ. J. Appl. Chem. 2019,92, 583–595. DOI:10.1134/S107042721905001X.

25 Povarov V., & Efimov I. (2023). Use of the UNIFAC model in the calculation of physicochemical properties of ecotoxicants for technological and ecoanalytical purposes. Journal of Mining Institute, 260, 238–247. <https://doi.org/10.31897/PMI.2023.41>.

References

1 Bundy, B. Optimization methods. Introductory course: Per. from English / B. Bundy. – M.: Radio and 1. Bandi B. Optimization methods. Introductory course: Per. from English / B. Bund

2 Gary, M. Computers and difficult problems. Monograph / M. Gary, D. Johnson - M.: Mir, 1982. - 420 p.

3 Kondratyev, A. A. Barriers to ITS implementation processes // Collection of proceedings of the International Academy of Transport. – 2014. – No. 17 – P. 89-95.

4 Safiullin R. N., Safiullin R. R., Efremova V. A. Method for a comprehensive assessment of on-board information and control systems on mining machines // Mining Information and Analytical Bulletin. – 2023. – No. 9-1. – pp. 49–63. DOI: 10.25018/0236/1493/2023/91049.

5 Nikolaev, V. I. Systems engineering: methods and applications / V. I. Nikolaev, V. M. Bruk. – L.: Mechanical Engineering, 1985. – 199 p.

6 Podinovsky, V.V. Optimization according to consistently applied criteria / V.V. Podinovsky, V.M. Gavrilov. – M.: Soviet radio, 1975. – 192 p.

7 Patent No. 2559299 C2 Russian Federation, IPC G01L 9/00, G01D 3/028. differential pressure sensor: No. 2013157288/28: appl. 12/24/2013: publ. 08/10/2015 / Yu. N. Tinyakov, K. A. Andreev, T. A. Tsvinskaya, D. V. Guslyayev; The applicant is the Russian Federation, on behalf of which the Ministry of Industry and Trade of the Russian Federation acts. – EDN ZADIRD.

8 Borisov, S. V., Koltunova E. A., Kladiev S. N. Improving the structure of the simulation model of the traction asynchronous electric drive of a mine electric locomotive // Notes of the Mining Institute. - 2021. - T. 247. - pp. 1–8. DOI: 10.31897/PMI.2021.1.12.

9 Buzmakov S. A., Sannikov P. Yu., Kuchin L. S., Igosheva E. A., Abdulmanova I. F. Application of unmanned aerial photography for diagnosing technogenic transformation of the natural environment during the exploitation of an oil field // Notes of the Mining Institute. – 2023. – T. 260. – P. 180-193. DOI: 10.31897/PMI.2023.22.

10 Nazarychev A. N., Dyachenok G. V., Sychev Yu. A. Study of the reliability of the traction electric drive of mining dump trucks based on the analysis of failures of its functional units // Notes of the Mining Institute. – 2023. – T. 261. – P. 363-373.

11 Kurganov V.M., Gryaznov M.V., Kolobanov S.V. Assessing the reliability of the functioning of excavator-vehicle complexes in a quarry // Notes of the Mining Institute. – 2020. – T. 241. – P. 10. DOI: 10.31897/pmi.2020.1.10.

12 Kozyaruk A. E., Kamyshyan A. M. Increasing the energy efficiency of the electromechanical transmission of a mining dump truck // Notes of the Mining Institute. – 2019. – T. 239. – P. 576. DOI: 10.31897/pmi.2019.5.576.

13 Baake E., Shpenst V.A. Latest scientific research on electrothermal metallurgical processes // Notes of the Mining Institute. –2019. – T. 240. – P. 660-668. DOI: 10.31897/PMI.2019.6.

14 Maharatkin P. N., Abdulaev E. K., Vishnyakov G. Yu., Botyan E. Yu., Pushkarev A. E. Increasing the efficiency of the functioning of mining dump trucks based on justification of their rational speed using simulation modeling // Mining Information analytical bulletin. – 2022. – No. 6(2). – pp. 237-250. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_62_0_237.15.

15 Komarov, V.V. Intelligent tasks of telematic transport systems and intelligent transport system / V.V. Komarov, S.A. Garagan // T-Comm: Telecommunications and transport. – 2012. – Т. 6, No. 4. – P. 34-38. – EDN PWMAPZ.

16 Safiullin, R. N. Methods for implementing remote diagnostic systems for passenger transport in urban agglomerations / R. N. Safiullin, R. R. Safiullin, K. V. Sorokin // Technical and technological problems of service. – 2023. – No. 4(66). – P. 18-24. – EDN FXOCET.

17 Afanasyev A. S., Evstafiev P. V., Sigin D. V. Analysis of developments in the field of remote diagnostics in automobile transport // System analysis and logistics: journal: issue No. 4(34), ISSN 2007-5687. – SPb.: GUAP., 2022 – p. 103-108. RSCI. DOI: 10.31799/2077-5687-2022-4-103-108.

18 Won, S. H., Haas, F. M., Dooley, S., Edwards, T., & Dryer, F. L. (2017). Reconstruction of chemical structure of real fuel by surrogate formulation based upon combustion property targets. *Combustion and Flame*, 183, 39–49. <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2017.04.032>.

19 Yu L., Zhao C., Liu S., & Di M. (2013). Alkane Influence of Combustion Products in Polyethylene and Gasoline. *Procedia Engineering*, 52, 566–570. <https://doi.org/10.1016/j.pro-eng.2013.02.186>.

20 Ramavath, S., & Suryawanshi, S. R. (2024). Optimal Prediction of Shear Properties in Beam-Column Joints Using Machine Learning Approach. *International Journal of Engineering*, 37(1), 67-82. doi: 10.5829/ije.2024.37.01a.07.

21 Ghaderi F., Toloei A., & Ghasemi R. (2024). Formation Control and Obstacle Avoidance of a Multi-Quadrotor System Based on Model Predictive Control and Improved Artificial Potential Field. *International Journal of Engineering*, 37(1), 115-126. doi: 10.5829/ije.2024.37.01a.11.

22 RF Patent No. 2792386, 01/24/2023. Safiullin R.N., Safiullin R.R., Ungefuk A.A., Sorokin K.V., Tian Haotian Automated remote diagnostic system.

23 Gaile A.A.; Vereshchagin A.V.; Klement'ev V.N. Refining of diesel and ship fuels by extraction and combined methods. Part 1. Use of ionic liquids as extractants. *Russ. J. Appl. Chem.* 2019,92, 453–475. DOI:10.1134/S1070427219040013.

24 Gaile A.A.; Vereshchagin A.V.; Klement'ev V.N. Refining of diesel and ship fuels by extraction and combined methods. Part 2. Use of organic solvents as extractants. *Russ. J. Appl. Chem.* 2019,92, 583–595. DOI:10.1134/S107042721905001X.

25 Povarov V., & Efimov I. (2023). Use of the UNIFAC model in the calculation of physicochemical properties of ecotoxicants for technological and ecoanalytical purposes. *Journal of Mining Institute*, 260, 238–247. <https://doi.org/10.31897/PMI.2023.41>.

© Сафиуллин Р.Н., Шаммазов И.А., Сафиуллин Р.Р., Сорокин К.В., Мошников А.Р., 2024