

коррозионных разрушений и накипеобразования, но и способствует снижению расхода топлива.

Для повышения эффективности применения присадок необходимо определить параметры, наиболее существенно зависящие от эксплуатационных воздействий, вывести зависимости этих параметров от времени и других факторов, разработать рекомендации по совершенствованию эксплуатации жидкостных систем охлаждения путем мониторинга свойств рабочих сред, оперативному контролю и восстановлению свойств охлаждающих жидкостей.

**Список литературы:**

1. Семенова И.В., Флорианович Г.М., Хорошилов А.В.

*Коррозия и защита от коррозии / Под ред. И.В. Семеновой – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 336 с.* 2. Моисеев А.Ф. *Предупреждение образования накипи в автомобильных двигателях. – М.: Транспорт, 1971.- 128 с.* 3. Овсянников М.К., Петухов В.А. *Судовые дизельные установки. Справочник.- Л.: Судостроение, 1986.- 424 с.* 4. Громогласов А.А., Копылов С.А., Пильщиков А.П. *Водоподготовка: Процессы и аппараты. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 272 с.* 5. Тузов Л.В., Безюков О.К., Жуков В.А., Ларин В.А. *Исследование влияния присадок к охлаждающей жидкости дизелей на процессы теплоотдачи // Двигателестроение.- 1996. - №1. - С. 46-51.*

УДК 621.431: 621.436

*А.Н. Пойда, д-р техн. наук, И.В. Парсаданов, д-р техн. наук, Д.Г. Сивых, асп.*

**МОДЕЛЬ МОНИТОРИНГА ЗАГРУЗКИ АВТОТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЕЙ  
В ЭКСПЛУАТАЦИИ**

**Общая постановка проблемы и её связь с научно-практическими задачами**

Обобщенные модели эксплуатации двигателей [1], построенные на основе экспериментальных данных о характере и времени их загрузки, применяются для получения важных оценок: эксплуатационных показателей расходов топлива и масла, выбросов с ОГ вредных веществ, идентифицируют для оценок и прогнозирования усталостной и длительной прочности деталей цилиндропоршневой группы тракторных и комбайновых двигателей. Их можно использовать также для маршрутного нормирования расхода топлива автомобилей. Однако серьёзным препятствием к широкому применению таких моделей являются материальные затраты на получение

информации о режимах эксплуатации двигателей определенного назначения, так как её получают в результате сложных исследований с применением специальных датчиков и дорогостоящей аппаратуры.

В то же время современные энергетические установки автомобилей или тракторов оснащаются микропроцессорными системами управления (МПСУ), в которых для дозирования топлива и управления используют информацию о частоте вращения коленчатого вала и расходе воздуха.

Проблема получения экспериментальных данных для формирования обобщенных моделей эксплуатации о характере и времени загрузки автотракторных дизелей может быть решена путем монито-

ринга МПСУ и накоплении информации в бортовых средствах транспортных и рабочих машин в процессе рядовой эксплуатации.

Для этого требуется комплекс математических моделей идентификации режимов работы, учета характера и времени загрузки дизелей, технических средств сбора и обработки информации.

### Обзор публикаций и анализ нерешённых проблем

Анализ публикаций показывает, что для решения рассматриваемой проблемы значительная часть задач в научном плане уже решена.

Современные технические средства, построенные на микроконтроллерах, например, маршрутные компьютеры, устанавливаемые на автомобилях [2], позволяют накапливать информацию о среднем расходе топлива, пройденном пути и времени в пути при движении от пункта до пункта. Однако они не обеспечивают возможность определять режим работы двигателя и экспортировать информацию в наружные технические средства.

Более широкими техническими возможностями располагают современные электронные тахографы, устанавливаемые на грузовых автомобилях, занятых международными перевозками. Хотя электронные тахографы унаследовали основную функцию от электромеханических предшественников и предназначены в основном для контроля режимов движения и действий водителей, реализуют они эту функцию успешно: позволяют регистрировать режим движения во всех подробностях, хранить информацию длительное время и экспортировать во внешние устройства, в том числе на Flash-карту. Пока в них реализована основная функция, но конструктивно эти устройства рассчитаны для накопления более разнообразной информации в больших объемах, в том числе и информации о режимах работы двигателя.

Для накопления информации о режимах работы двигателя необходимо иметь модель идентификации режимов работы, модель и алгоритм учета его загрузки и на их основе формировать модель эксплуатации дизеля.

Теоретические основы моделей эксплуатации дизелей различного назначения разработаны на кафедре ДВС НТУ «ХПИ».

Наиболее полно они изложены в работе [1], в том числе приведены обобщенные модели эксплуатации автомобильных, тракторных и комбайновых дизелей, в которых совокупность эксплуатационных режимов двигателя в эксплуатации заменяют представительными полигонами, являющимися рядом дискретных сочетаний частоты вращения коленчатого вала и крутящего момента, для каждого из которых определено время наработки.

В работе [3] приведена математическая модель идентификации режимов работы дизеля по расходу топлива и частоте вращения коленчатого вала, которая является основой для построения других моделей.

Анализ опубликованных работ показал, что для накопления информации о режимах работы двигателя необходимо иметь модель и алгоритм учета его загрузки, в основу которой можно положить две модели:

- вероятностную модель эксплуатации дизеля [1];
- модель идентификации режимов работы дизеля по расходу топлива и частоте вращения коленчатого вала [3].

Первая модель, в которой совокупность эксплуатационных режимов двигателя в эксплуатации заменяют представительными полигонами, являющимися рядом дискретных сочетаний частоты вращения коленчатого вала  $n_i$  и крутящего момента  $M_{кр*i*}$ , для каждого из которых определено время наработки. Эта модель эксплуатации двигателя представля-

ется в виде вероятности, характеризуемой долевой годовой занятостью дизеля

$$P_i = f(M_{kpi}, n_i), \quad (1)$$

где  $P_i$ ,  $M_{kpi}$ ,  $n_i$  — долевая наработка, крутящий момент и частота вращения коленчатого вала двигателя при  $i$ -ом полигоне эксплуатационных режимов.

В этой модели каждый из исследуемых показателей работы двигателя в границах отдельно взятого  $i$ -го полигона приводится к центру полигона, имеющего конкретную величину  $M_{kpi}$ , и  $n_i$ . Возникающая при этом погрешность определения характеристик эксплуатационных режимов в выбранных пределах зависит от числа полигонов.

Модель рассматривается как квазистационарная, т.е. внутри конкретного полигона представительные значения  $M_{kpi}$ , и  $n_i$  не меняются в течение долевой наработки  $P_i$ .

Для обобщения моделей эксплуатации двигателей определенного назначения используют относительные показатели:

$$\bar{M}_{kp} = \frac{M_{kp}}{M_{kpi}} - \text{крутящего момента}, \quad (2)$$

$$\bar{n} = \frac{n}{n_n} - \text{частоты вращения коленчатого вала}, \quad (3)$$

где индекс « $n$ » относится к режиму номинальной мощности.

Согласно второй модели режим работы дизеля определяется по расходу топлива, частоте вращения коленчатого вала и эффективному КПД, записанному в ПЗУ как функцию цикловой подачи топлива и частоты вращения, которые также представляются в относительных долях

$$\bar{G}_m = \frac{G_m}{G_{mi}} - \text{часового расхода топлива}, \quad (4)$$

$$\bar{G}_{mц} = \frac{G_{mц}}{G_{mцн}} - \text{цикловой подачи топлива}, \quad (5)$$

$$\bar{\eta}_e = \frac{\eta_e}{\eta_{en}} - \text{эффективного КПД}. \quad (6)$$

С учётом принятых обозначений

$$\bar{M}_{kp} = \bar{G}_{mц} \cdot \bar{\eta}_e, \quad (7)$$

а коэффициент использования мощности двигателя

$$K_u = \bar{N}_e = \bar{G}_m \cdot \bar{\eta}_e = \bar{G}_{mц} \cdot \bar{\eta}_e \cdot \bar{n}. \quad (8)$$

### Модель мониторинга загрузки двигателей в эксплуатации

При разработке данной модели в качестве основополагающих приняты подходы вероятностной модели эксплуатации дизеля [1] и модели идентификации режимов работы дизеля по расходу топлива и частоте вращения коленчатого вала [3].

Согласно второй модели для определения режима работы дизеля необходимо измерить две величины: расход топлива и частоту вращения коленчатого вала, по ним определить эффективный КПД и крутящий момент.

Как сказано выше, модель эксплуатации квазистационарная, т.е. предполагается, что показатели не меняются в течение долевой наработки. В реальных условиях эксплуатации всегда существует «флуктуация» нагрузки (частоты вращения коленчатого вала и крутящего момента), кроме того, значительную часть времени двигатель работает на переходных режимах, которые необходимо отличать от установившихся. Для идентификации режимов пуска двигателя и холостого хода необходимо ввести ещё один измеряемый параметр – скорость движения машины. Кроме того, например, для автомобиля, скорость необходимо измерять для вычисления средней технической скорости, пройденного пути, удельного путевого расхода топлива.

Для однозначности распределения измерительной информации в данной модели приняты следующие допущения.

1. Контролируемыми параметрами считают те, по которым идентифицируется режим работы

двигателя: расход топлива, частота вращения коленчатого вала и скорость движения машины.

2. Для каждого полигона устанавливаются границы в виде верхнего и нижнего предела значений контролируемого параметра. Режим работы считается установившимся, если в интервале времени между двумя измерениями контролируемый параметр не вышел за границы, установленные для данного полигона.

3. Режим работы считается неустановившимся (переходным), если в интервале времени между двумя измерениями хотя бы один контролируемый параметр вышел за границы, установленные для данного полигона.

4. Режим работы принадлежит данному полигону, если контролируемые параметры изменяются в пределах, установленных для данного полигона и ни один из них не вышел за установленные границы. В противном случае осуществляется автоматический переход к другому полигону.

5. Не тяговые режимы работы (пуск двигателя, холостой ход, переходный режим при переключении передач) фиксируются отдельно.

6. Количество полигонов выбирается из условий удобства размещения информации в памяти регистрирующего устройства и с учётом допустимой погрешности дискретизации (замены совокупности эксплуатационных режимов двигателя в эксплуатации дискретными представительными полигонами).

Продолжительность работы двигателя в пределах данного полигона  $\tau_n$  измеряется до тех пор, пока контролируемые параметры находятся в диапазоне данного полигона.

Непрерывные величины частоты вращения коленчатого вала и крутящего момента заменяются дискретными значениями. Если измерять контролируемые параметры через фиксированные промежутки времени, то есть с постоянным периодом дискре-

тизации  $\tau_\delta$ , то за время работы двигателя в пределах данного полигона  $\tau_n$  число измерений составит  $m$  дискретных значений, следовательно

$$\tau_n = m \cdot \tau_\delta. \quad (9)$$

Тогда любой контролируемый параметр  $P_i$  (расход топлива, частота вращения коленчатого вала, скорость движения), не выходящий за установленные границы данного полигона и относящийся к нему, за время  $\tau_n$  будет измерен  $m$  раз, т. е. представляет выборку случайных величин из  $m$  значений. Следовательно, каждый параметр, в пределах данного полигона, может быть представлен как среднее выборочное значение, которое по условиям построения модели относится к центру полигона:

$$P_{cp} = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^m P_i. \quad (10)$$

По такому принципу можно обрабатывать все параметры и показатели, подлежащие измерению и вычислению в каждой конкретной задаче.

#### Выбор количества полигонов

При равномерном шаге распределения полигонов их количество можно определить из простого соотношения

$$Z_n = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{2\varepsilon_0}, \quad (11)$$

где  $P_{\max}$ ,  $P_{\min}$  - максимальное и минимальное значение параметра, достигаемое при работе двигателя во всем диапазоне характеристик;

$\varepsilon_0$  - погрешность отклонения параметра от значения, принятого в центре полигона.

Иными словами, шаг распределения полигонов

$$t = 2\varepsilon_0. \quad (12)$$

Если значение параметра в центре полигона принять равным  $P_{ин}$ , то верхняя его граница для

данного полигона

$$P_e = P_{цп} + \varepsilon_0, \quad (13)$$

а нижняя граница

$$P_n = P_{цп} - \varepsilon_0. \quad (14)$$

Например, если относительная частота вращения коленчатого вала для дизеля изменяется в пределах от  $n_n = 0,3$  до  $n_e = 1,1$ , то при погрешности  $\varepsilon_0 = 0,05$ , шаг распределения  $t = 0,1$ , количество полигонов  $Z_n = 8$ . Аналогично можно показать, что если, например, относительная цикловая подача топлива на различных режимах изменяется в пределах от 0,1 до 1,1, то при количестве полигонов  $Z_n = 8$ , шаг распределения  $t = 0,125$ , а погрешность не превысит 6,25 %.

При таком распределении все поле характеристик работы двигателя представлено 64 полигонами. Получается удобная с точки зрения микропроцессорной техники матрица памяти с организацией  $8 \times 8$ , позволяющая записывать информацию по каждому полигону отдельно.

Возможен и неравномерный шаг распределения, например, в областях малых и больших изменений цикловой подачи шаг может быть разным.

### Реализация циклов измерения

В связи с тем, что количество полигонов фиксировано, каждому полигону присвоен порядковый номер  $j = 1, 2 \dots Z$  и определены граничные значения контролируемых параметров, то вся процедура измерения сводится к проверке неравенства  $P_n \leq P_i \leq P_e$ . Пока неравенство выполняется, в соответствии с формулой (9) подсчитывается время работы двигателя в пределах данного  $j$ -го полигона. Так как период дискретизации  $\tau_\delta$  постоянный, то измерение интервалов времени сводится лишь к подсчету количества  $m_j$  периодов, а интервал времени в пределах каждого полигона

$$\tau_{nj} = \tau_\delta \cdot m_j. \quad (15)$$

В результате изменения режимов работы дизеля вхождение в один и тот же полигон может многократно повторяться. Поэтому полное время работы в одноименных полигонах представляет собой сумму интервалов, определенных по формуле (15).

Наработка двигателя (суммарное время работы) представляет сумму периодов дискретизации  $\tau_\delta$  за все работы двигателя и вычисляется по формуле

$$T = \tau_\delta \cdot m, \quad (16)$$

где  $m$  – общее количество измерений.

Осреднённый часовой расход топлива в пределах каждого полигона в соответствии с формулой (10)

$$G_{mj} = \frac{1}{m_j} \cdot \sum_1^m G_{mi} \quad (17)$$

Количество топлива, израсходованное двигателем в пределах каждого полигона, вычисляется из формул (15) и (17)

$$Q_{mj} = G_{mj} \cdot \tau_{nj} \quad (18)$$

и при очередном вхождении в данный полигон суммируется. По такому же принципу определяются суммарное количество топлива, израсходованное двигателем за время наработки, пройденный машиной путь и другие интегральные характеристики, которые хранятся в памяти отдельно.

### Алгоритм определения параметров и учета времени загрузки

Алгоритм определения и учета характера и времени загрузки двигателей в эксплуатации, реализуемый по данной модели, предполагает, что в ПЗУ устройства для конкретного двигателя записаны граничные значения измеряемых параметров - цикловой подачи топлива и частоты вращения коленчатого вала. На тяговых режимах работы двигателя в устройстве измеряется расход топлива и частоты вращения коленчатого вала, вычисляется цикловая по-

дача топлива, из ПЗУ извлекается значение эффективного КПД, вычисляется крутящий момент, определяется режим работы двигателя и соответствующий полигон. Измеряется суммарное время работы двигателя, время работы в пределах данного полигона, количество измерений, вычисляются все предусмотренные алгоритмом параметры, которые временно хранятся в ОЗУ. При выходе контролируемых параметров за пределы полигона все вычисленные значения параметров заносятся в ячейки памяти ПЗУ, соответствующие данному полигону.

**Выводы:** Предложенная математическая модель мониторинга загрузки двигателей позволяет накапливать информацию в структурированном виде в процессе рядовой эксплуатации.

Можно определить долевую загрузку двигателя, относительный крутящий момент, частоту вращения, часовой расход топлива, среднюю техниче-

ская скорость автомобиля, суммарную наработку, среднеэксплуатационный коэффициент загрузки и другие показатели, необходимые для оценки технического уровня двигателя и его функционирования.

**Список литературы:**

1. Парсаданов И. В. *Повышение качества и конкурентоспособности дизелей на основе комплексного топливно-экологического критерия. Монография.* - Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. – 244 с.
2. *Автомобили ВАЗ-2108, ВАЗ-2109. Руководство по ремонту/ А.П. Игнатов, С.Н. Косарев, К.В. Новохионов и др.* Москва, «Третий Рим», 1998.- 170 с.
3. Парсаданов И.В., Пойда А.Н., Сивых Д.Г. *Модель идентификации режимов работы автотракторных дизелей в условиях эксплуатации/ Двигатели внутреннего сгорания // Научно-технический журнал.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2007, №1. – С.110-114.

УДК 621.431

*А.Н. Пойда, д-р техн. наук, А.М. Проскурин, инж.*

**МОДЕЛЬ ИДЕНТИФИКАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ВПРЫСКИВАНИЕМ БЕНЗИНА В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

**Общая постановка проблемы и её связь с научно-практическими задачами**

В настоящее время все большее распространение получают обобщенные модели эксплуатации двигателей определенного назначения [1]. Их используют при оценке по результатам стендовых испытаний наиболее важных показателей технического уровня и конкурентоспособности современных двигателей: надежности, топливной экономичности и

токсичности выбросов ОГ. Однако степень загрузки двигателя и время его работы на определенных режимах, которые характеризуются крутящим моментом и частотой вращения коленчатого вала, зависят от назначения и условий эксплуатации автомобиля. Поэтому практическая ценность полученных результатов будет максимальной в том случае, если режимы и циклы стендовых испытаний выбираются с учетом особенностей эксплуатации автомобиля, на