

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

котором установлен двигатель. Для обобщения моделей эксплуатации двигателей определенного назначения используют относительные показатели долевой наработки, крутящего момента и частоты вращения коленчатого вала.

Эти модели могут быть идентифицированы для оценок и прогнозирования усталостной и длительной прочности деталей цилиндропоршневой группы, а также эксплуатационных показателей расходов топлива и масла, выбросов вредных веществ, нормирования расхода топлива.

Экспериментальные данные о загрузке двигателей в эксплуатации, которые могут служить основанием для построения обобщенных моделей эксплуатации двигателей, получают в результате сложных исследований с применением специальных датчиков и дорогостоящей аппаратуры. Серьезную проблему составляет измерение крутящего момента двигателя в процессе эксплуатации. Поэтому весьма важно получать информацию о режимах работы и загрузке автомобильного двигателя по косвенным показателям в процессе рядовой эксплуатации автомобиля, выполняя постоянный мониторинг определенных параметров двигателя.

### Обзор публикаций и анализ нерешённых проблем

Анализ публикаций показывает, что по рассматриваемой проблеме часть задач уже решена.

Современные автомобильные двигатели оснащены микропроцессорными системами управления (МПСУ) [2], имеющими в своём составе средства измерения, обработки и хранения информации о параметрах, характеризующих состояние двигателя и используемых для управления процессами в двигателе. Эта информация доступна для считывания во внешние устройства через интерфейс последовательного обмена. Кроме того, целенаправленно выводится информация о частоте вращения коленча-

того вала, расходе воздуха и о вырабатываемом в системе управления сигнале продолжительности впрыскивания топлива.

Её используют в маршрутных компьютерах (МК) [3], которые устанавливаются на современных автомобилях зарубежного производства и на некоторых автомобилях ВАЗ как средство выдачи оперативных данных водителю о мгновенном расходе топлива. МК позволяет накапливать информацию о среднем расходе топлива, пройденном пути и времени в пути при движении от пункта до пункта. Однако он не обеспечивает возможность определять режим работы двигателя и экспортировать информацию в наружные технические средства.

В НТУ «ХПИ» разработаны теоретические основы обобщенных моделей эксплуатации автомобильных, тракторных и комбайновых дизелей, наиболее полно изложенные работе [1], в которых совокупность эксплуатационных режимов двигателя в эксплуатации заменяют представительными полигонами, являющимися рядом дискретных сочетаний частоты вращения коленчатого вала  $n_i$  и крутящего момента  $M_{kpi}$ , для каждого из которых определено время наработки.

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. Считают приемлемой погрешность 5...8 %.

Если для каждого из полигонов определена его вероятность, характеризующая долевой годовой занятостью, то модель эксплуатации двигателя представляется в виде

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

где  $P_i$ ,  $M_{kpi}$ ,  $n_i$  — долевая наработка, крутящий

момент и частота вращения коленчатого вала двигателя при  $i$ -ом полигоне эксплуатационных режимов.

Данную модель рассматривают как квазистационарную, т.е. полагают, что внутри конкретного полигона представительные значения  $M_{kpi}$ , и  $n_i$  не меняются в течение долевой наработки  $P_i$ . Область модели ограничивается регуляторной и внешней характеристиками двигателя, а также реальными минимальными значениями крутящего момента и частоты вращения коленчатого вала, которые могут встретиться в эксплуатации.

В работе [4] приведена математическая модель идентификации режимов работы дизеля по расходу топлива и частоте вращения коленчатого вала в условиях рядовой эксплуатации. Согласно этой 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. Для обобщения моделей эксплуатации двигателей определенного назначения в рассматриваемых моделях используют относительные показатели, которые представляются в относительных долях:

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

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

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

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

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

где  $G_{mn}$ ,  $G_{mцн}$ ,  $\eta_{ен}$ ,  $n_n$  – перечисленные выше показатели с дополнительным индексом «н» относятся к режиму номинальной мощности.

С учётом принятых обозначений крутящий момент

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

а коэффициент использования мощности двигателя представляют как

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

### Цель работы

Целью данного исследования является обоснование и разработка математической модели идентификации режимов работы двигателя по продолжительности впрыскивания топлива и частоте вращения коленчатого вала.

### Модель идентификации режимов работы двигателя

Исходим из того, что цикловая подача топлива для двигателя с впрыскиванием бензина одной форсункой за один рабочий цикл,

$$G_{mц} = \mu f_{\phi} \cdot \sqrt{2\rho_m \cdot P_m} \cdot \tau_{ен}, \quad (9)$$

где  $\mu f_{\phi}$  – эффективное проходное сечение распыливающих отверстий форсунки,  $m^2$ ;

$\rho_m$  – плотность топлива,  $кг/м^3$ ;

$P_m$  – перепад давления топлива на распылителе форсунки,  $Н/м^2$ ;

$\tau_{ен}$  – продолжительность впрыскивания, с.

Система впрыскивания бензина проектируется так, что все параметры, кроме продолжительности впрыскивания  $\tau_{ен}$ , в уравнении (9) остаются неизменными на всех режимах работы двигателя. Плотность топлива  $\rho_m$  можно считать неизменной, перепад давления топлива на распылителе форсунки  $P_m$  обеспечивается постоянным с помощью стабилизатора давления, а эффективное проходное сечение распыливающих отверстий форсунки  $\mu f_{\phi}$  изменяет-

ся только во время подъёма и посадки иглы распылителя. Если использовать такие же подходы и обозначения, как в работах [1, 4], то в соответствии с формулой (5)

$$\bar{G}_{mц} = \frac{\tau_{en}}{\tau_{enн}}, \quad (10)$$

где  $\tau_{enн}$  - продолжительность впрыскивания топлива на номинальном режиме.

Обозначив относительную продолжительность впрыскивания бензина

$$\bar{\tau}_{en} = \frac{\tau_{en}}{\tau_{enн}}, \quad (11)$$

с учётом принятых обозначений получим

$$\bar{M}_{кр} = \bar{G}_{mц} \cdot \bar{\eta}_e = \bar{\tau}_{en} \cdot \bar{\eta}_e, \quad (12)$$

$$K_u = \bar{N}_e = \bar{G}_m \cdot \bar{\eta}_e = \bar{\tau}_{en} \cdot \bar{\eta}_e \cdot \bar{n}. \quad (13)$$

Чтобы учесть влияние на эффективный КПД ( $\bar{\eta}_e$ ) скоростного и нагрузочного режимов, обозначим зависимость относительного значения эффективного КПД от частоты вращения по внешней скоростной характеристике  $\bar{\eta}_{en} = f(\bar{n})$ . Влияние нагрузки на эффективный КПД – представим как зависимость эффективного КПД от продолжительности впрыскивания топлива при работе двигателя по нагрузочной характеристике  $\bar{\eta}_{ет} = f(\bar{\tau}_{en})$ .

Тогда уместно предположить, что во всей области возможных нагрузок двигателя, ограниченной внешней скоростной характеристикой и ветвью холостого хода, любая частичная нагрузка принадлежит некоторой нагрузочной характеристике, которая имеет общую точку, расположенную на внешней скоростной характеристике. В этой общей точке  $\bar{\eta}_{ет} = \bar{\eta}_{en}$ . Следовательно, все поле возможных нагрузок можно представить как множество нагрузочных характеристик, каждая из которых имеет общую точку, расположенную на внешней скоростной характеристике, где  $\bar{\eta}_{ет} = \bar{\eta}_{en}$ .

Предположим, что существует некоторое ос-

редненное относительное значение эффективного КПД  $\bar{\eta}_{ето}$ , достоверно отражающее характер изменения эффективного КПД от нагрузки, тогда можно выразить

$$\bar{\eta}_e = \bar{\eta}_{ето} \cdot \bar{\eta}_{en}. \quad (14)$$

Пользуясь формулой (14) и имея зависимость относительного значения эффективного КПД от частоты вращения по внешней скоростной характеристике  $\bar{\eta}_{en} = f(\bar{n})$  и зависимость эффективного КПД от продолжительности впрыскивания топлива при работе двигателя по нагрузочной характеристике  $\bar{\eta}_{ет} = f(\bar{\tau}_{en})$ , можно получить множество значений относительного эффективного КПД в пределах рабочей зоны двигателя. Каждая из них представляет нагрузочную характеристику с общей точкой на внешней скоростной характеристике.

#### Проверка адекватности модели

Адекватность модели проверяли по результатам стендовых испытаний бензинового двигателя МеМЗ – 307 хозяйственного предприятия "АвтоЗАЗ – Мотор" (Мелитопольский моторный завод). МеМЗ – 307 – четырехтактный четырехцилиндровый рядный двигатель жидкостного охлаждения с принудительным зажиганием, внешним смесеобразованием путем попарно параллельного распределенного впрыскивания бензина во впускной коллектор. Система управления – микропроцессорная Микас 7.6. Двигатель устанавливается на автомобили «Сенс» предприятия «АвтоЗАЗ».

При стендовых испытаниях двигателя МеМЗ 307 были сняты:

- внешняя скоростная характеристика при частоте вращения коленчатого вала 1500, 2000, 3000, 4000, 5000, 5750 мин<sup>-1</sup>;
- несколько нагрузочных характеристик при частоте вращения коленчатого вала 1500, 2000, 3000, 4000, 5000, 5750 мин<sup>-1</sup>.

В процессе испытаний измеряли: частоту вращения коленчатого вала, крутящий момент, часовой расход топлива и воздуха, продолжительность впрыскивания топлива. По результатам испытаний по известным зависимостям вычислили эффективный КПД, цикловую подачу топлива. По этим данным как среднее арифметическое трех нагрузочных характеристик при  $n=1500, 3000, 5750 \text{ мин}^{-1}$  получили одну обобщенную зависимость  $\bar{\eta}_{\text{ет}} = f(\bar{\tau}_{\text{ен}})$ . Затем, пользуясь этой зависимостью и зная изменение КПД по внешней скоростной характеристике (из графической зависимости были определены промежуточные 4 точки), по формуле (14) вычислили относительный эффективный КПД. Далее по формуле (12) опреде-

лили относительный крутящий момент и по формуле (13) – коэффициент загрузки дизеля для 10 режимов работы по нагрузочным характеристикам.

На рис. 1 приведены зависимости относительного крутящего момента от коэффициента загрузки двигателя MeM3 307 для 10 фиксированных значений частоты вращения коленчатого вала: 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000, 5500, 5750  $\text{мин}^{-1}$ . Сопоставление результатов вычисления относительного значения эффективного КПД по формуле (14) с соответствующими значениями нагрузочных характеристик при  $n=2000$  и  $4000 \text{ мин}^{-1}$  (их при осреднении не учитывали) показали, что они отличаются не более, чем на 2%.

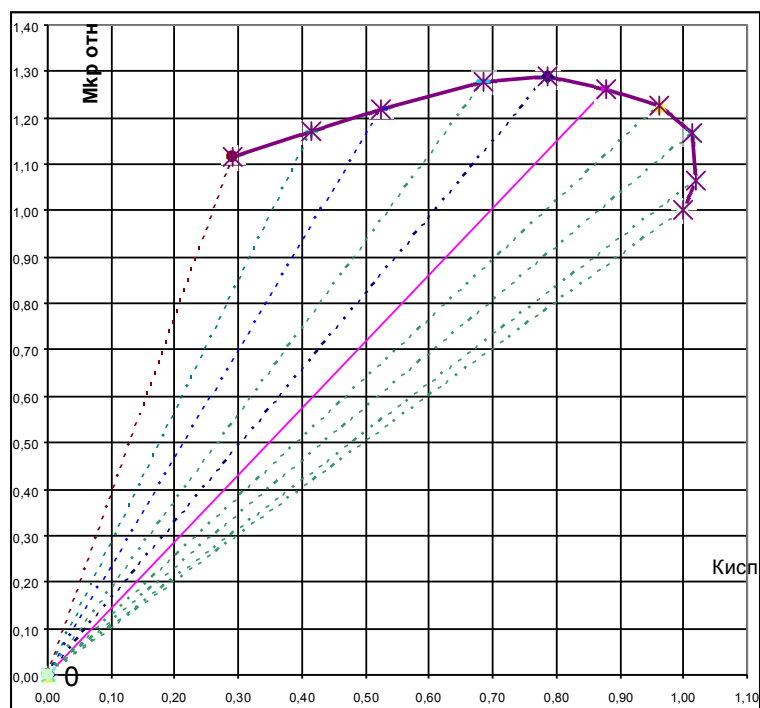


Рис. 1 – Зависимости относительных значений крутящего момента от коэффициента загрузки двигателя MeM3 307

**Выводы:**

Математическая модель определения режимов работы двигателя по частоте вращения коленчатого вала и продолжительности впрыскивания бензина адекватно описывает его характеристики и позволяет накапливать информацию о загрузке двигателя в

процессе рядовой эксплуатации без установки на двигателе дополнительных датчиков. Она ориентирована на применение информационных технологий и может быть реализована лишь за счет модернизации маршрутных компьютеров.

**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. *Системы управления бензиновыми двигателями. Пер. с нем. Первое рус. изд. – М.: ООО «Книжное изд. «За рулем», 2005, - 480 с.* 3. *Автомобили ВАЗ-2108, ВАЗ-2109. Руководство по ремонту/ А.П. Игнатов, С.Н. Косарев, К.В. Новокионов и др. Москва, «Третий Рим», 1998.- 170 с.* 4. *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 621.577

*Н.И. Радченко, инж., А.А. Сирота, канд. техн. наук, Д.В. Коновалов, инж.*

**РАЦИОНАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ТРИГЕНЕРАЦИОННЫХ КОНТУРОВ СУДОВЫХ СРЕДНЕОБОРОТНЫХ ДИЗЕЛЕЙ**

**1. Анализ проблемы и постановка задачи исследования**

Одним из основных и перспективных направлений повышения эффективности судовых среднеоборотных дизелей (СОД) является утилизация теплоты их вторичных энергоресурсов (ВЭР): теплоты, отводимой с продуктами сгорания, охлаждающей водой и от наддувочного воздуха. Так как показатели СОД существенно зависят от температуры наружного воздуха на их входе, ухудшаясь с ее повышением [1, 2], то весьма целесообразным было бы использовать теплоту ВЭР для производства холода, который в свою очередь – для охлаждения воздуха на входе двигателей. Поскольку в большинстве судовых дизельных установок наряду с механической или (и) электрической энергией вырабатывается еще и тепловая (чаще всего в виде нагретой воды или пара для судовых нужд), т.е. они являются когенерационными установками, то дополнительное производство еще и холода превращает их в так называемые тригенерационные установки. Основу таких тригенерацион-

ных контуров, в которых происходит трансформация теплоты ВЭР в холод, составляют теплоиспользующие холодильные машины (ТХМ).

Известны результаты исследований по охлаждению наддувочного воздуха ДВС с помощью воздушных турбокомпрессорных холодильных машин [3, 4]. Но КПД воздушных холодильных машин довольно низкий, а сами установки сложны и громоздки. Что касается теплоиспользующих холодильных машин абсорбционного типа, то им также свойственны повышенные габариты (соответственно и аэродинамическое сопротивление), и целесообразность их включения в газовый и воздушный тракты СОД весьма проблематична. Конструктивной простотой и надежностью в эксплуатации отличаются ТХМ струйного – эжекторного типа, в которых эжектор выполняет функцию компрессора [5–7]. Включение тригенерационных контуров на базе таких ТХМ в дизельные установки не приведет к заметному усложнению последних. В ТХМ используются низкокипящие рабочие тела (НРТ), что позволяет утилизи-