

УДК 621.436.004.6

А. Н. Пойда, д-р. техн. наук, Д. Г. Сивых, асп.

ВЫБОР ИНФОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И ФОРМИРОВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АВТОТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Общая постановка проблемы и её связь с научно-практическими задачами

Систематический мониторинг технического состояния дизелей позволяет своевременно выявлять и устранять возникающие неисправности или нарушения исходных регулировок и обеспечивать нормальное функционирование силовых установок. Давно и успешно применяется мониторинг эксплуатационный (диагностический) в авиации. Причем программно-аппаратные средства разделены на два вида – бортовые и наземные. В последнее время наметилась устойчивая тенденция применения бортовых систем мониторинга (БСМ) на автомобилях, тракторах, тепловозах, судах. Технических трудностей в создании и применении БСМ практически не существует, так как мировым сообществом накоплен большой опыт в производстве и эксплуатации микропроцессорных систем управления двигателями (МПСУ) и датчиков к ним. Основная проблема заключается в том, что МПСУ или БСМ имеют узкое функциональное назначение и высокую стоимость, которая может достигать стоимости двигателя небольшой мощности. В связи с изменением в Украине собственника на автомобили и сельскохозяйственные машины, на которых устанавливаются дизельные двигатели, возрастает интерес к таким функциональным возможностям БСМ, как диагностика общего технического состояния двигателя, учёт расхода топлива, выбор рациональных режимов работы двигателей, накопление данных для прогнозирования ресурса. Поэтому важным направлением является совмещение функций в БСМ, что обеспечит комплексное решение ряда задач и даст экономиче-

ский стимул для большего распространения БСМ. К таким задачам можно отнести следующее:

- поддержание двигателя постоянно в исправном состоянии путем профилактического воздействия на объект по его фактическому техническому состоянию, то есть своевременное выявление и устранение возникающих неисправностей или нарушения исходных регулировок;
- экономия энергоносителей за счет выбора рациональных режимов работы двигателей при выполнении технологических операций транспортными машинами, на которых они установлены;
- учет и контроль расходования энергоносителей;
- прогнозирование ресурса двигателя и планирование технического обслуживания или ремонта в сроки, не связанные с интенсивным использованием данного вида техники.

Обзор публикаций и анализ нерешённых проблем

Анализ публикаций показывает, что многие из перечисленных задач в научном плане уже решались или решаются как самостоятельно поставленные задачи. В работе [1] изложен подход разделения программно-аппаратного комплекса, выполняющего функции мониторинга рабочих процесса судового дизеля, на две части (модули): измерительную и аналитическую. Причиной, побудившей появление такой идеи, явилось то, что из-за интеграции измерительных и вычислительных модулей в единую систему, появилась избыточность аппаратных средств и, как результат, высокая стоимость системы.

На современных автомобилях зарубежного

производства, на некоторых автомобилях ВАЗ устанавливаются маршрутные компьютеры (МК) [2], 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 экспортировать информацию в наружные технические средства. Наряду с этим получают распространение электронные тахографы – мощные технические средства эксплуатационного мониторинга автомобилей, предназначенные, в основном, для контроля режимов движения средств транспорта.

В работе [3] рассмотрены переносные и встроенные средства диагностирования тракторных двигателей, предложена технология идентификации режимов работы и степени загрузки дизелей на основе измерения положения управляющего органа (рейки топливного насоса), расхода топлива и частоты вращения коленчатого вала. Предложено использовать встроенные технические средства для диагностического мониторинга. В памяти этих устройств накапливаются результаты контрольных измерений диагностических параметров, в том числе о расходе топлива за определенный промежуток времени: за смену, за сутки, за время эксплуатации.

В работе [4] сформулирована концепция, как система взглядов, на основе общности информационного обеспечения перечисленных выше задач. Рассматривая транспортную или рабочую машину, дизельный двигатель как техническую систему, для которой решаются перечисленные задачи с использованием результатов мониторинга, предложена концепция построения технологий мониторинга и диагностирования двигателей транспортных машин на основе системного подхода. Предложенный подход предполагает, что данные, которыми оперирует система управления двигателем, можно использовать затем в операциях мониторинга. Данные должны

содержать, по крайней мере, минимум информации, необходимой для решения задач конкретной технической системы. Поэтому на автомобилях с МПСУ достаточно установить бортовые системы мониторинга, по принципу действия похожие на маршрутные компьютеры или электронные тахографы. Используя информацию, получаемую от МПСУ двигателем, после её предварительной обработки, БСМ должны сохранять её в своей памяти.

В работе [5] поставлен вопрос о необходимости системного подхода в решении проблем автомобильного транспорта. Рассмотрено взаимодействие основных его подсистем как большой технической системы, изложены теоретические основы влияния условий эксплуатации на эффективность работы и техническое состояние автомобильного транспорта, обоснована необходимость учета условий работы и предложены варианты устройств, позволяющих механизировать учет условий эксплуатации. Показано, что расход топлива является важным диагностическим параметром. Проанализированы факторы, влияющие на расход топлива в условиях эксплуатации. Указано, что на автомобилях отечественного производства отсутствуют бортовые приборы и средства связи, позволяющие регистрировать параметры транспортного процесса и эффективно управлять им.

Задачам прогнозирования технического состояния транспортных дизелей и остаточного ресурса силовых агрегатов посвящены работы [6,7]. Причём, оценку технического состояния транспортных дизелей в [7] предложено выполнять по индикаторным показателям.

К числу нерешённых можно отнести следующие проблемы:

- во-первых, вопросы системного мониторинга транспортных двигателей, отличающихся уровнем технической оснащённости и контролепригодности не рассматривались конкретно для дизелей, а только

упоминаются в концепции, сформулированной в общем виде для транспортных машин;

- во-вторых, ещё не обоснован перечень информативных параметров, подлежащих регистрации в БСМ, не сформулированы требования к структуре базы данных в системной постановке, а также методики и алгоритмы обработки и анализа информации, накопленной в базе данных.

- в-третьих, отсутствует необходимая номенклатура бортовых технических средств диагностического мониторинга и оперативного диагностирования, позволяющих накапливать данные в достаточном объёме и отслеживать техническое состояние транспортных дизелей, в результате чего возникает информационный разрыв в цепи технологических процессов.

Цель работы

Целью данного исследования является обоснование и выбор информативных параметров, разработка требований к структуре базы данных БСМ в системной постановке.

Обоснование и выбор информативных параметров

В процессе эксплуатации дизелей под воздействием естественных процессов старения и изнашивания изменяется техническое состояние узлов и деталей, оказывающих влияние на их рабочие процессы, индикаторные и эффективные показатели. В результате снижается мощность, повышается расход топлива. Режимы движения транспортных машин при выполнении технологических операций также влияют на экономичность. Поэтому повышение эффективности функционирования автотракторных дизелей в эксплуатации может быть достигнуто путём целенаправленного комплексного воздействия: поддержания их в исправном состоянии, выборе режимов работы с наилучшей экономичностью, кон-

троле расходования энергоносителей.

Индикаторную и эффективную мощность двигателя можно представить известными выражениями

$$N_i = \frac{Q_n}{3600} \cdot G_m \cdot \eta_i = \frac{Q_n}{60 \cdot i} \cdot G_{mци} \cdot \eta_i \cdot n, \quad (1)$$

$$N_e = \frac{Q_n}{3600} \cdot G_m \cdot \eta_e = \frac{Q_n}{60 \cdot i} \cdot G_{mци} \cdot \eta_e \cdot n, \quad (2)$$

где Q_n – низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг;

η_i, η_e – индикаторный и эффективный КПД,

$G_{mци}$ – цикловая подача топлива, кг/цикл,

G_m – часовой расход топлива, кг/ч,

n – частота вращения коленчатого вала, мин⁻¹,

i – коэффициент тактности.

Оба приведенных выражения можно использовать для упомянутых оценок. Применяемый в оценках эффективности функционирования транспортных машин [5] коэффициент использования мощности двигателя K_u можно представить как отношение текущего значения эффективной мощности N_e к эффективной мощности номинального режима $N_{ен}$:

$$K_u = \frac{N_e}{N_{ен}} = \frac{G_m}{G_{mн}} \cdot \frac{\eta_e}{\eta_{ен}} = \frac{G_{mци}}{G_{mцин}} \cdot \frac{\eta_e}{\eta_{ен}} \cdot \frac{n}{n_n}, \quad (3)$$

где $G_{mн}, G_{mцин}, \eta_{ен}, n_n$ – перечисленные выше показатели с дополнительным индексом «н» номинального режима.

В процессе эксплуатации дизеля под воздействием естественных процессов старения и изнашивания изменяется техническое состояние узлов и деталей, оказывающих влияние на его рабочий процесс, индикаторные и эффективные показатели. В работе [7] оценку стабильности функционирования дизеля предложено выполнять по индикаторным показателям. Количественную оценку изменившемуся техническому состоянию можно сделать следующим образом. Условимся, что в уравнении (1) все показатели двигателя характеризуют текущее техническое состояние. Для нового дизеля всем переменным показателям присвоим индекс «и», означающий исход-

ный показатель, то есть $\eta_{iu}, G_{mi}, G_{mци}, n_u$. Тогда отношение индикаторной мощности дизеля с текущим техническим состоянием к исходной индикаторной мощности на идентичном режиме работы можно рассматривать как коэффициент общего технического состояния дизеля:

$$K_{мсд} = \frac{N_i}{N_{iu}} = \frac{G_m}{G_{mi}} \cdot \frac{\eta_i}{\eta_{iu}} = \frac{G_{mци}}{G_{mци}} \cdot \frac{\eta_i}{\eta_{iu}} \cdot \frac{n}{n_u} \quad (4)$$

Параметрами для идентификации режима служат: положение рейки ТНВД $h_p = h_{pu}$, частота вращения коленчатого вала $n = n_u$ и температура охлаждающей жидкости $t_{жс} = t_{жу}$. При таком условии $(n/n_u)=1$ формула (4) приобретает вид:

$$K_{мсд} = \frac{G_{mци}}{G_{mци}} \cdot \frac{\eta_i}{\eta_{iu}} \quad (5)$$

Воспользоваться формулой (5) можно только при стендовых испытаниях дизеля, когда есть возможность идентифицировать режим работы и определить либо непосредственно индикаторные мощности при разном техническом состоянии, либо КПД и цикловые подачи. В условиях эксплуатации формулу (5) в таком виде применить затруднительно, так как не известен действительный индикаторный КПД, поскольку он зависит от коэффициента избытка воздуха α , начала подачи топлива, герметичности рабочей полости и других факторов, изменяющихся в процессе эксплуатации. Воспользуемся рекомендацией [9], где сказано, что влияние α на индикаторный КПД следует анализировать по зависимости $\frac{\eta_i}{\alpha} = f(\alpha)$.

Если принять упрощающее допущение, что в процессе эксплуатации под воздействием перечисленных выше факторов функция $f(\alpha)$ изменяется по отношению к исходной $f(\alpha)_u$ по зависимости $f(\alpha) = b \cdot f(\alpha)_u$, где b – функция, определяемая экспериментально, то есть принять $\frac{\eta_i}{\alpha} = b \cdot \frac{\eta_{iu}}{\alpha_u}$, то произведя

перестановку членов уравнения, получим

$$\frac{\eta_i}{\eta_{iu}} = b \cdot \frac{\alpha}{\alpha_u} \quad (6)$$

Подставив (6) в (5), получим формулу для количественной оценки технического состояния дизеля:

$$K_{мсд} = \frac{G_{mци}}{G_{mци}} \cdot \frac{\alpha}{\alpha_u} \cdot b \quad (7)$$

В работе [3] было показано, что, используя такой принцип, по изменению перемещения рейки h_{pu} исходного и текущего технического состояния h_p , можно диагностировать топливный насос высокого давления:

$$K_{мсТНВД} = \frac{h_{pu}}{h_p}$$

при равенстве цикловых подач или

$$K_{мсТНВД} = \frac{G_{mци}}{G_{mци}}$$

при одинаковом положении рейки ТНВД.

ДСТУ 2389–94 предписывает при диагностировании объекта прогнозировать его ресурс. Существующие методы не позволяют решить эту задачу корректно из-за недостаточности исходных данных.

Современные МПСУ имеют встроенные программные модули, в которых осуществляется самодиагностика систем. Технология строится на измерении величин сигналов датчиков, характеризующих диагностические параметры, в контрольных точках и сравнении измеренных величин с пороговыми значениями. При отклонении какого-либо параметра от порогового значения в специально отведенную область памяти записывается код ошибки. Сами данные в МПСУ не сохраняются. На комбинации приборов загорается сигнальная лампа, сообщающая о необходимости диагностирования двигателя. Таким образом, информация, получаемая при реализации технологий управления процессами, безвозвратно теряется, а затем при диагностике, обслуживании

или ремонте её необходимо снова получать. Как правило, диагностирование двигателя осуществляют в режиме холостого хода, в котором не все неисправности можно однозначно определить, например, те, которые возникают при больших нагрузках. Бортовая диагностика помогает опытному диагносту быстрее локализовать дефект.

В рассмотренных примерах просматривается общность информационного обеспечения задач системного мониторинга дизелей. Следует учесть, что для определения α необходимо знать расходы топлива и воздуха, а для учета условий работы требуется информация о скорости движения транспортной машины и время работы на определенном режиме.

Формирование базы данных

Рассмотрим основные требования к базе данных БСМ. База данных должна обладать определенным уровнем универсальности, то есть обеспечить возможность системного мониторинга двигателей различных марок и моделей автомобилей, тракторов и комбайнов, поэтому должна содержать определенный набор идентификаторов, например, характеризующих модель дизеля и его комплектность, а именно:

- технические характеристики двигателей различных марок и моделей (диаметр цилиндра, ход поршня, число цилиндров, степень сжатия, литраж, фазы газораспределения и др.);
- электрические схемы систем управления двигателями различных марок;
- справочную информацию о технических характеристиках компонентов систем управления (тип турбокомпрессора, ТНВД, форсунок);
- коды ошибок для различных типов систем управления, информацию о размещении на автомобиле диагностического разъема.

В этом случае появляются предпосылки к созданию типовых решений аппаратной части БСМ и

технологий получения исходной информации. При системном мониторинге дизелей база данных должна содержать информацию об исходных показателях дизелей: КПД η_e или η_i , α , G_m , мощности и частоте вращения, а также данные, позволяющие получить сведения о режимах работы, степени загрузки, суммарном расходе топлива, средней скорости движения транспортной или рабочей машины, пройденном пути и затраченном на это времени.

Для этого необходимо сохранять измеренные параметры: расход топлива, расход воздуха, частоту вращения коленчатого вала, положение рейки ТНВД, скорость движения и время.

В процессе функционирования системы может изменяться структура объекта мониторинга, совершенствоваться и изменяться состав и структура технических средств, технологии получения и передачи данных, математические модели, применяемые при их анализе. В связи с этим необходимо обеспечить возможность развития систем и решения новых задач по мере накопления опыта эксплуатации или при появлении дополнительных или более совершенных датчиков в системе контроля технического состояния. Поэтому база данных должна иметь открытую структуру, т. е. иметь возможность дополнения новыми параметрами, контролируруемыми узлами и т. д.

Форма представления информации в базе данных БСМ зависит от архитектуры аппаратных средств, конкретных технических характеристик электронных компонентов, алгоритмов получения и обработки измерительной информации, поэтому в данной статье не обсуждается. На наш взгляд интерес представляет исходная информация, получаемая на основе испытаний дизеля и вносимая в базу данных.

В качестве примера в таблице 1 представлена выборка исходных данных, которые можно применить при диагностировании дизеля СМД-31А. Информация, помещенная в таблице, получена путем

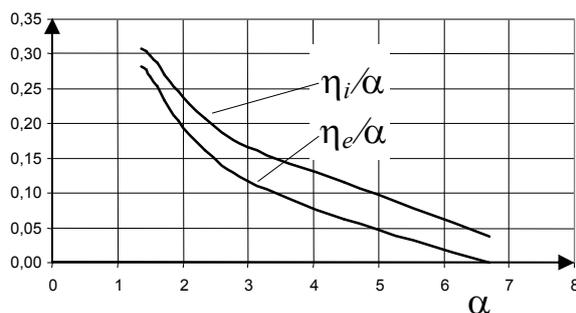
обработки экспериментальных данных, приведенных в [8]. При этом исходными были: N_e , G_m , G_b , η_e В колонке 1- приведенное значение хода рейки ТНВД $h/h_{p\max}$, 6 и 7 – отношение КПД к α (рис. 1, а) в колонках 8 и 9 – относительные величины индикаторного и эффективного КПД, полученные путем деления текущих значений на величины, соответствующие $h_{p\max}$. Интерес представляют функции, приведенные в колонках 10 и 11, (рис. 1, б)

$$F_1 = \frac{\eta_i \cdot \alpha_{h\max}}{\alpha \cdot \eta_{ih\max}} \quad \text{и} \quad F_2 = \frac{\eta_e \cdot \alpha_{h\max}}{\alpha \cdot \eta_{eh\max}},$$

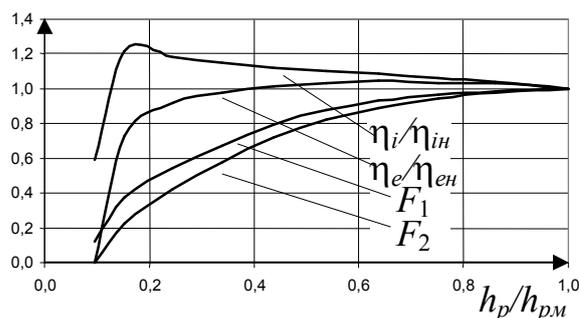
где $\alpha_{h\max}$, $\eta_{ih\max}$, $\eta_{eh\max}$ – соответственно коэффициент избытка воздуха, индикаторный и эффективный КПД при максимальном положении рейки ТНВД. Функции F_1 и F_2 примечательны тем, что изменяются в пределах от 0 до 1 при изменении $h/h_{p\max}$ в тех же пределах.

Таблица 1. Показатели дизеля СМД–31А (нагрузочная характеристика при $n=1500$ мин.⁻¹)

h_p/h_{pm}	N_e	G_m	G_b	α	η_i/α	η_e/α	η_i/η_{in}	η_e/η_{en}	F_1	F_2
	кВт	кг/ч	кг/ч							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,096	0	4,70	450	6,695	0,038	0,000	0,594	0,000	0,122	0,000
0,152	25	7,50	480	4,476	0,115	0,063	1,219	0,729	0,374	0,223
0,243	50	11,95	513	3,002	0,167	0,118	1,184	0,915	0,541	0,418
0,339	75	16,70	560	2,345	0,207	0,162	1,147	0,982	0,671	0,574
0,438	100	21,55	595	1,931	0,246	0,204	1,121	1,015	0,797	0,721
0,539	125	26,50	652	1,721	0,271	0,232	1,101	1,031	0,878	0,822
0,638	150	31,40	720	1,603	0,287	0,252	1,089	1,045	0,931	0,894
0,752	175	37,00	797	1,506	0,297	0,266	1,059	1,034	0,964	0,942
0,862	200	42,40	877	1,446	0,305	0,276	1,042	1,031	0,988	0,978
1,000	225	49,20	965	1,372	0,308	0,282	1,000	1,000	1,000	1,000



а)



б)

Рис. 1. Изменение информативных параметров:
а) в зависимости от α ; б) в зависимости от положения рейки ТНВД

Выводы

Предложенный подход ориентирован на применение информационных технологий и позволит создавать сбалансированные по составу технических средств, информационному и методическому обеспечению системы для решения многих задач, связанных с эксплуатацией автотракторных дизелей.

Список литературы:

1. Ивановский В.Г., Варганец Р.А. Мониторинг рабочего процесса судовых дизелей в эксплуатации// Двигатели внутреннего сгорания// Научно-технический журнал. Харьков: НТУ «ХПИ». -2004, №2.-с.- 138 – 141.
2. 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. 3. Пойда А.Н., Палий А. В., Сивых Д. Г. Встроенные и переносные средства диагностирования тракторных дизелей/ Вісник ХДТУСГ, вип. 1, Харків, 2003, с. 24–29. 4. Системный подход к управлению рабочими процессами, мониторингу и диагностированию транспортных машин / А.Н. Пойда, Е.Е. Гужва, А.В. Проскурин, Д.Г. Сивых// Автомобильный транспорт, сб. научн. трудов, вып. 16. Харьков, ХНАДУ, 2005, с. 22 – 24. 5. Говорущенко Н. Я., Туренко А. Н. Системотехника транспорта (на примере автомобильного транспорта)/ Изд. 2-е, перераб. и доп. – Харьков: РИО ХГАДТУ, 1999. – 468

с. 6. Бажинов А. В. Прогнозирование остаточного ресурса силовых агрегатов // Проблемы транспорта и пути их решения. –К., 1994.–С. 42–43. 7. Кудряш А. П., Рязанцев Н. К., Бородин Ю. С., Перерва П. Я. Прогнозирование технического состояния транспортных дизелей // Авіаційно-космічна техніка і технологія.- Харків: “ХАІ”.- 2001.- Вип. 26. – С. 247 – 252. 8. Парсаданов И. В. Повышение качества и конкурентоспособности дизелей на основе комплексного топливно-экологического критерия. Монография. - Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. – 244 с. 9. Теория двигателей внутреннего сгорания / Под ред. Дьяченко Н. Х. – Л.: Машиностроение, 1974. – 552 с.

УДК: 621.822.6

С.В. Пилипенко, канд. техн. наук, А.Н. Дороженко, инж., В.К. Савич, инж., А.Н. Шевелёв, инж., Д.Ю. Бородин, канд. техн. наук

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПОДШИПНИКОВОГО УЗЛА

В процессе совершенствования транспортных средств, укомплектованных двигателем 6ТД возникла необходимость в автоматизации процессов управления. С этой целью был спроектирован и изготовлен узел для установки датчика скорости, монтируемый на двигателе.

Узел представляет собой зубчатое колесо с числом зубьев $Z = 40$ модуля $m = 2$ мм, ось которого установлена на двух симметрично расположенных подшипниках качения 7.000.103. На корпусе узла крепится специально разработанный датчик ИДЧВ-3М, сигнал от которого используется для автоматизации управления транспортным средством.

Важность безотказной работы данного узла вызвала необходимость оценки работоспособности

подшипников, как наиболее слабого звена конструкции. Решение данной задачи усложнялось отсутствием надёжной расчётной методики исследования, поскольку рассматриваемые подшипники не нагружены ни осевой, ни радиальной нагрузкой. Они испытывают лишь воздействие переменного окружного усилия, вызванного неравномерностью вращения приводной шестерни.

Для решения поставленной задачи была разработана экспериментальная методика испытаний подшипникового узла, заключающаяся в воспроизведении режима его эксплуатационного нагружения и обработке на этом режиме базового числа циклов нагружений.

Реализация методики осуществлялась на специ-