

ВЫБОР СОВОКУПНОСТИ КОСВЕННЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ДВС

*И.П. Добролюбов, д.т.н., проф., О.Ф. Савченко, к.т.н.
ГНУ Сибирский физико-технический институт аграрных проблем
Сибирского отделения Россельхозакадемии*

Выбор совокупности косвенных диагностических параметров (ДП) для реализации операций диагностирования ДВС представляет собой многоальтернативную задачу, которая определяется многими факторами. Это делает выбор ДП для контроля работоспособности ДВС сложной, многоплановой и ответственной. Поэтому важно сформулировать методологию выбора для измерительной экспертной системы (ИЭС) ДВС косвенных диагностических параметров, отражающих его техническое состояние.

Рассмотрен оптимальный алгоритм последовательности контроля работоспособности, базирующийся на функциональной диагностической модели ДВС и информационном критерии. Алгоритм позволяет учесть ряд значимо влияющих факторов при выборе совокупности косвенных диагностических параметров для ИЭС ДВС. Этот алгоритм достаточно просто программируется, легко встраивается в базу знаний ИЭС и позволяет повысить достоверность определения технического состояния ДВС и его составных элементов.

Вопросы выбора совокупности косвенных диагностических параметров (ДП) для измерительной экспертной системы (ИЭС) ДВС [1–3] находятся постоянно в поле зрения исследователей. Однако поиск и обоснование применения каждого ДП производится, как правило, интуитивно, без учета ряда факторов. Выбор совокупности ДП для реализации одной или нескольких операций диагностирования представляет собой многоальтернативную задачу, которая определяется многими факторами, основными из которых являются: целевая функция ДВС как объекта экспертизы (ОЭ); стратегия технического обслуживания (ТО); набор средств экспертизы; время проведения экспертизы; стоимость средств экспертизы и самого процесса экспертизы с учетом простоев объекта экспертизы в режиме экспертизы. Перечисленные факторы делают задачу выбора ДП для контроля работоспособности сложной, многоплановой и ответственной.



Поэтому важно сформулировать методологию выбора, для чего нужно, на наш взгляд, рассмотреть вопросы минимизации совокупности ДП, отражающих техническое состояние ДВС, и их ранжирование с точки зрения оптимизации алгоритма контроля с последующим формированием непосредственно процедуры выбора параметров для контроля работоспособности ДВС.

При решении задачи минимизации совокупности диагностических параметров целесообразно в качестве совокупности ДП для контроля работоспособности использовать параметры функционального использования (ПФИ) и ряд косвенно определяемых технических параметров [4–6]. Часть диагностических параметров объекта экспертизы поддается прямым измерениям — эти параметры образуют множество прямых параметров $A_{\Pi} = A_{\Pi}(a_{n1}, a_{n2}, \dots, a_{nN})$, измерение которых должно давать однозначный ответ: работоспособен или нет объект экспертизы. На практике множество A_{Π}^N , $i = \overline{1, N}$, заменяется подмножеством A_{Π}^n , $i = \overline{1, N}$, где $n < N$, в силу того, что не все параметры поддаются прямым измерениям. В этом случае для получения более полной информации о работоспособном состоянии множество A_{Π}^n дополняется подмножеством косвенных параметров A_{Π}^m , задача которого компенсировать образовавшуюся разность $N - n$, обусловленную трудностями прямых измерений. В качестве критерия эффективности введения косвенных параметров $a_{k1} \dots a_{km}$ может быть использована норма вектора чувствительности

$$(a_{kj}) = \|\nu(a_{kj})\|,$$

$$\text{т. е. } v(a_{kj}) = \left(\frac{da_{kj}}{da_{\Pi 1}} \dots \frac{da_{kj}}{da_{\Pi n}} \right)$$

$$\text{или } v(a_{kj}) = \left(\frac{1}{a_{\Pi 1}} \frac{da_{kj}}{da_{\Pi 1}} \dots \frac{1}{a_{\Pi n}} \frac{da_{kj}}{da_{\Pi n}} \right).$$

Выражение для нормы вектора, по которой следует произвести упорядочение совокупности косвенных параметров [7]:

$$v(a_{kj}) = \sum_{q=1}^n \left| \frac{da_{kj}}{da_{\Pi q}} (\bar{A}_{\Pi O}) + \sum_{i=1}^n \frac{d^2 a_{kj}}{da_{\Pi q} da_{\Pi i}} (\bar{A}_{\Pi O}) + \sum_{d=1}^m \frac{da_{\Pi d}}{da_{kq}} (\bar{A}_{kO})(a_{kd} - a_{kd0}) \right|,$$

где $\bar{A}_{\Pi O} = \{a_{\Pi O1}, a_{\Pi O2}, \dots, a_{\Pi On}\}$ — совокупность точек номинальных значений прямых ДП, а $\bar{A}_{kO} = \{a_{kO1}, a_{kO2}, \dots, a_{kOn}\}$ — совокупность точек номинальных значений косвенных ДП.

Достаточность совокупностей прямых и косвенных диагностических параметров для оценки состояния объекта экспертизы с заданной или определенной достоверностью определяется величиной вероятности правильной экспертизы (диагностирования), определяемой по формуле

$$P_{\text{ПД}}(n, m) = \frac{\sum_{i=1}^n k_i C_i U(a_{\Pi i}) + \sum_{j=1}^m k_j C_j V(a_{kj})}{\sum_{i=1}^n k_i C_i U(a_{\Pi i}) + \sum_{j=1}^m k_j C_j V(a_{kj})},$$

где k_i, k_j — коэффициенты, характеризующие значимость того или иного параметра; C_i, C_j — стоимость его определения в процессе экспертизы.

Совокупность диагностических параметров — прямых и косвенных должна перекрывать все информационное поле, характеризующее состояние объекта и его возможные изменения.

При решении задачи ранжирования параметров с точки зрения оптимизации алгоритма контроля исходим из того, что ДВС, как объект экспертизы характеризуется совокупностью n взаимосвязанных параметров $U_i, 1 < i \leq m$; $P(U_i)$ — вероятность того, что все параметры объекта экспертизы в допуске; $C(U_i)$ — стоимость контроля всех параметров совокупности; $g(U_i)$ — стоимость потерь от неполноты контроля объекта экспертизы; $\tau_b(U_i)$ — среднее время диагностирования i -го параметра. Оптимизация алгоритма ранжирования с одновременной минимизацией средних затрат или среднего времени может быть получена на основе информационной модели. Реализация этой модели состоит в следующем. Каждому из дискретных состояний в S_i соответствует вероятность P_i . При числе блоков объекта n — его энтропия

$$H(S) = - \sum_{i=1}^n P_i \log P_i.$$

При $P_i = 1/n$ имеем $H(S) = H_{\text{max}} = \log_2 n$. Если определение технического состояния объекта экспертизы проводится не по всем, а по n_k параметрам, то

$$H(S_k) = - \sum_{i=1}^{n_k} P_i \log P_i.$$

Каждое из измерений U_i несет количество информации о работоспособном состоянии объекта экспертизы:

$$I_{U_i \rightarrow S} = \log_2 [P(S/U_i) / P(S)],$$

где $P(S)$ — априорная вероятность пребывания объекта экспертизы в определенном состоянии, например в работоспособном; $P(S/U_i)$ — условная вероятность пребывания системы в состоянии S (работоспособном) при условии, что результат U_i свидетельствует о работоспособности объекта экспертизы:

$$P(S/U_i) = [P(S)P(U_i/S)] / [P(S)P(U_i/S) + P(0)P(U_i/0)],$$

где $P(U_i/S)$ — условная вероятность того, что U_i соответствует положительному результату при работоспособной системе; $[1 - P(S)] = P(0)$ — вероятность отказа, т. е. нарушения работоспособного состояния \bar{S} . С учетом последнего равенства

$$P(S/U_i) = [P(S)P(U_i/S)] / \{P(S)P(U_i/S) + P(0)[1 - P(U_i/0)]\}.$$

Принимаем, что погрешности определения состояния в ИЭС отсутствуют, тогда $P(U_i/S) = 1$. Соответственно получим

$$P(S/U_i) = P(S) / [P(S) + P(0) - P(0)P(U_i/0)];$$

$$I_{U_i \rightarrow S} = \log_2 \{1 / [1 - P(0)P(U_i/0)]\},$$

откуда следует, что $\max(I_{U_i \rightarrow S})$ будет соответствовать $\max[P(0)P(U_i/0)]$. Учитывая, что для сопоставления в структуре должно быть проведено n проверок (испытаний), функция предпочтения проверок по $\max(I_{U_i \rightarrow S})$ принимает вид

$$\begin{aligned} \max(I_{U_i \rightarrow S}) &\rightarrow \\ &\rightarrow \max \left[\frac{P(S/U_i)}{P(S)} \right] \rightarrow \\ &\rightarrow \max \left[\sum_{i=1}^n P(S_i)P(\bar{U}_i/0) \right] \rightarrow \\ &\rightarrow \max \left[\sum_{i=1}^n P_i(0)P(\bar{U}_i/0) \right]. \end{aligned}$$

При реализации приведенного алгоритма выбора информативных проверок (испытаний) следует иметь в виду, что условием реализации является наличие в объекте только одного отказа, откуда обязательное условие

$$\sum_{i=1}^n P_i(0) = \sum_{i=1}^n q_i = 1.$$

По функциональной диагностической модели объекта (рис. 1) строится матрица состояний (рис. 2), из которой следует, что

$$\max \left[\sum_{i=1}^n P_i(0) P(\bar{U}_i / 0) \right]$$

соответствует максимальному количеству нулей в соответствующей строке проверки, т. е. выражению

$$\max \left[\sum_{i=1}^n P_i(0) \langle \langle 0_i \rangle \rangle \right].$$

Если на основе априорных данных результат расчета будет

$$\sum_{i=1}^n q_i < 1,$$

необходимо произвести соответствующую нормировку. Кроме того, условие одного отказа автоматически приводит к равенству $P(0) = P(\bar{S}_i)$. Если вероятности состояний отдельных элементов объекта экспертизы оказываются неизвестными, то вид функции предпочтения упрощается и предпочтение отдается той проверке, в строке которой больше нулей:

$$\max \left[\sum_{i=1}^n \langle \langle 0_i \rangle \rangle \right].$$

Если известны стоимости отдельных измерений, то функция предпочтения одного измерения другому приобретает следующий вид:

$$\max \left[\sum_{i=1}^n P_i(0) \langle \langle 0_i \rangle \rangle / C(U_i) \right],$$

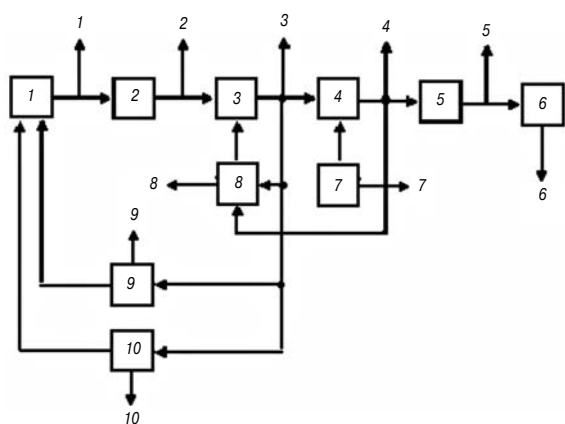


Рис. 1. Пример функциональной диагностической модели объекта (ДВС):

1 — топливный насос; 2 — форсунка; 3 — камера сгорания; 4 — цилиндропоршневая группа; 5 — коленчатый вал; 6 — подшипники коленчатого вала; 7 — механизм газораспределения; 8 — турбокомпрессор; 9 — привод топливного насоса; 10 — центробежный регулятор скорости

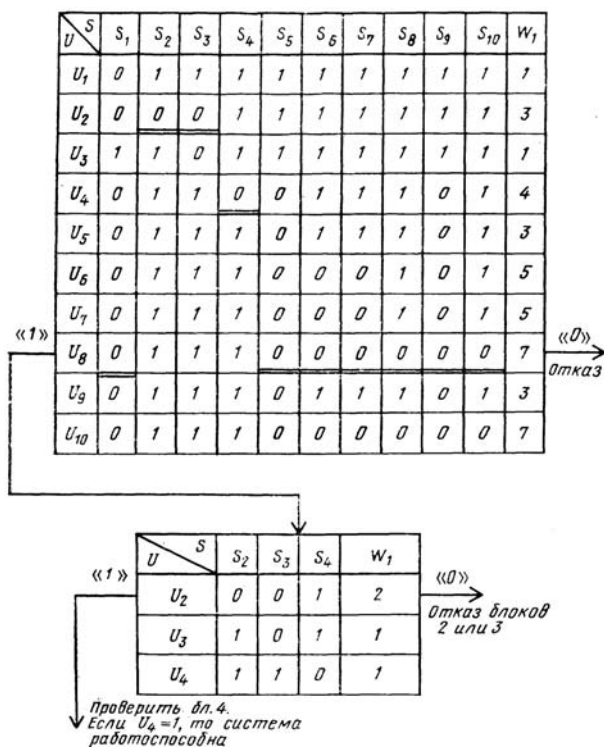


Рис. 2. Пример выбора параметров для проверки работоспособности ДВС по матрице состояний: S — состояние; U — параметр; W — функция предпочтения

где $C(U_i)$ — стоимость одного измерения (испытания), в состав которой может входить и среднее время экспертизы.

В результате исследований можно предложить процедуру выбора совокупности диагностических параметров для контроля работоспособности ДВС в информационной модели. Для каждой строки матрицы вычисляют функцию предпочтения W . Первой для реализации выбирают ту проверку U_i , в строке которой $W \rightarrow \max$. По результатам проверки матрицу состояний делят на две части (см. рис. 2). В первую часть входят состояния, для которых результаты проверки положительны — «1», во вторую часть — состояния, для которых результаты отрицательны — «0». Первая часть матрицы является исходной для построения новой матрицы, в которую входят непроверенные состояния. Для новой матрицы вновь определяется функция предпочтения W и процедура повторяется до тех пор, пока имеется непроверенный параметр.

Рассмотренный оптимальный алгоритм последовательности контроля работоспособности, базирующийся на функциональной диагностической модели ДВС и информационном критерии с использованием функции предпочтения позволяет учесть ряд значимо влияющих факторов при выборе совокупности косвенных диагностических параметров для измерительной экспертной си-

стемы ДВС. Этот алгоритм достаточно просто программируется, легко встраивается в базу знаний ИЭС и позволяет повысить достоверность определения технического состояния ДВС, в особенности при проведении технического обслуживания.

Литература

1. Савченко О.Ф., Добролюбов И.П., Альт В.В. Измерительный технологический комплекс экспертизы технического состояния ДВС // Двигателестроение. — 1998. — № 2. — С. 27–30.
2. Добролюбов И.П., Савченко О.Ф. Расширение возможностей измерительного технологического комплекса экспертизы технического состояния ДВС // Двигателестроение. — 2004. — № 2. — С. 25–27.

3. Добролюбов И.П., Савченко О.Ф. Выбор информативных признаков при использовании измерительной экспертной системы двигателя // Измерительная техника. — 2005. — № 2. — С. 18–21.

4. Добролюбов И.П., Савченко О.Ф., Альт В.В. Идентификация состояния сельскохозяйственных объектов измерительными экспертными системами / Новосибирск : РАСХН, Сиб. отд-ние, СибФТИ, 2003. — 209 с.

5. Савченко О.Ф., Добролюбов И.П., Альт В.В., Ольшевский С.Н. Автоматизированные технологические комплексы экспертизы двигателей. — Новосибирск : РАСХН, Сиб. отд-ние, СибФТИ, 2006. — 272 с.

6. Савченко О.Ф. Экспертиза технического состояния ДВС на основе интеллектуального анализа данных // Труды ГОСНИТИ. Т. 101 / ГОСНИТИ. — М. : Россельхозакадемия, 2007. — С. 96–103.

7. Давыдов П.С. Техническая диагностика радиоэлектронных устройств и систем. — М. : Радио и связь, 1988. — 256 с.



БМЗ получил сертификат соответствия на тепловоз ТЭМ18В

Брянский машиностроительный завод получил сертификат соответствия Регистра сертификации на федеральном железнодорожном транспорте (РС ФЖТ) на установочную партию тепловозов ТЭМ18В. Сертификат распространяется на партию тепловозов (установочную серию) из 25 единиц и действителен до 1 ноября 2014 г.

Тепловоз ТЭМ18В создан на базе локомотива ТЭМ18ДМ. В базовую конструкцию внесены ряд изменений. ТЭМ18В оснащается более современным и надежным дизель-генератором фирмы «Wartsila» мощностью 882 кВт при 1000 об/мин. При среднеэксплуатационной нагрузке ТЭМ18В почти на 30 % экономичнее, чем тепловозы ЧМЭЗ.

Впервые на БМЗ на маневровом тепловозе установлено колесо главного вентилятора из пластмассы; применены системы подогрева теплоносителей дизеля типа «Гольфстрим», с помощью которых поддерживается оптимальная температура теплоносителей неработающего дизеля. Это существенно экономит топливо при зимних отстоях тепловоза.

Удельный расход топлива при работе по типовому циклу загрузки составляет 288 г/кВт·ч. Ожидается, что с началом реализации в Пензе совместного российско-финского проекта (Трансмашхолдинг–Wartsila) по производству современных дизельных двигателей для железнодорожного и морского транспорта новые дизель-генераторы будут использоваться и на других тепловозах отечественного производства, что обеспечит более высокую надежность силовых установок и эксплуатационные качества локомотива.

Трансмашхолдинг построит для РЖД десять «Витязей» с силовыми установками MTU

ОАО РЖД и ЗАО «Трансмашхолдинг» заключили договор на поставку десяти двухсекционных магистральных грузовых тепловозов 2ТЭ25АМ, которые будут оснащаться дизелями производства компании «MTU Friedrichshafen GmbH» (Германия).

В качестве базовой модели при создании новой модификации будет использован тепловоз 2ТЭ25А «Витязь». В соответствии с контрактом, один локомотив будет изготовлен в 2012, остальные — в 2013 г. На тепловозах будут использованы силовые модули MTU серии 4000 мощностью 2700 кВт.

Тепловоз 2ТЭ25А — первый в истории отечественного локомотивостроения тепловоз с асинхронным тяговым приводом. Работы по его созданию завершились в 2010 г. Локомотивы производятся на Брянском машиностроительном заводе.

Во время испытаний, которые проводились на БАМЕ на участках со сложным профилем, «Витязь» продемонстрировал существенно большие по сравнению с серийными локомотивами возможности по вождению тяжеловесных поездов. Переход к массовому использованию таких тепловозов позволит значительно снизить затраты на содержание парка подвижного состава и расширить возможности по перевозке грузов на особенно трудных участках сети РЖД.

РЖД, Трансмашхолдинг и Caterpillar подписали соглашение о сотрудничестве при создании газотепловозов

ОАО РЖД, ЗАО «Трансмашхолдинг» и компания «Caterpillar» намерены совместно реализовать проект по созданию нового для российских железных дорог класса подвижного состава — маневровых газотепловозов, работающих на природном газе.

Цель, которую ставят перед собой партнеры, — создание на территории России производства экономически эффективных маневровых газотепловозов, соответствующих современным и перспективным экологическим требованиям.

Ожидается, что новый локомотив будет создан на базе экипажной части маневрового тепловоза ТЭМ18ДМ; в качестве силовой установки будет применен газопоршневый двигатель Caterpillar мощностью 1000 кВт. Разработку конструкции, создание образцов и испытания планируется завершить к концу 2013 г.