

МЕТОДИКА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

В.О. Сайданов, д.т.н., проф., Л.В. Столярчук, адъюнкт, А.Ю. Асанов, адъюнкт
Военный инженерно-технический институт
(филиал ФГБОУ ВПО «Военная академия тыла и транспорта им. генерала армии Хрулева А.В.»)

Одним из неиспользованных резервов снижения эксплуатационных затрат может стать внедрение нового принципа технического обслуживания ДВС, основанного на оценке фактического состояния объекта. Для реализации этого принципа разработана методика диагностирования и прогнозирования технического состояния ДВС на базе методов структурно-логического моделирования.

Методика экспериментально апробирована на дизель-генераторной установке Д-144.23.10 с дизелем 6ЧН10,5/12.

В настоящее время возрастает актуальность изменения принципа организации технического обслуживания (ТО) дизельных двигателей. Вместо календарного и временного графиков выполнения ТО целесообразно введение периодичности обслуживания с учетом технического состояния объекта.

Рост цен на топливо выдвигает на первый план проблемы снижения стоимости жизненного цикла двигателя, поэтому целью технического обслуживания по фактическому состоянию является повышение надежности и снижение эксплуатационных расходов с учетом предполагаемого прогноза изменения состояния двигателя в процессе эксплуатации.

Основой для изменения периодичности ТО является техническое диагностирование и прогнозирование состояния объекта.

В зависимости от используемого математического аппарата различают следующие основные виды прогнозирования и диагностирования:

- экспертная оценка, когда мнения экспертов о будущем состоянии оборудования собирают путем опроса или анкетирования, обрабатывают и формируют прогноз;
- аналитическая оценка, когда в результате прогнозирования определяется величина контролируемого параметра (параметров), характеризующего изменение состояния объекта во времени;
- вероятностная оценка, когда в результате прогнозирования определяется вероятность

выхода (невыхода) параметра (параметров) за допустимые пределы;

- статистическая классификация (распознавание образов), когда в результате прогнозирования определяется класс диагностируемого объекта по критерию работоспособности.

Для решения задачи обеспечения бесперебойного энергоснабжения наибольшего внимания заслуживает вероятностное прогнозирование. Предлагается имеющиеся вероятности выхода (невыхода) параметров дизельного двигателя за допустимые пределы использовать как исходные данные для общего логико-вероятностного метода (ЛВМ), который является теоретической основой технологии автоматизированного структурно-логического моделирования и расчета надежности, живучести и безопасности структурно и качественно сложных системных объектов и процессов [1]. В основе постановки и решения всех задач моделирования и расчета надежности систем с помощью ЛВМ лежит так называемый событийно-логический подход. Этот подход предусматривает последовательное выполнение следующих четырех основных этапов ЛВМ [2, 3].

Этап-1. Формализованная постановка задачи.

На данном (начальном) этапе логико-вероятностного моделирования определяются следующие три основные группы данных:

1. Строится структурная модель (формализованная схема) исследуемой системы. Она задается, как правило, в некоторой графической форме, которая обеспечивает строгое представление и учет:

- основных (существенных по мнению разработчика) элементов системы, представляемых простыми бинарными случайными событиями x_i ;
- логических взаимосвязей между выделенными элементами, которые определяют конкретные условия реализации ими соответствующих системных функций;
- возможность алгоритмической реализации процедур построения логической функций работоспособности системы.

2. Критерий (или критерии) функционирования системы, определяющий, в обобщенном виде логические условия реализации исследуемого

режима работы или использования системы. Этому критерию (критериям) должны точно соответствовать формируемые далее различные математические модели функционирования системы. Критерии функционирования могут формулироваться устно или задаваться в виде специальных логических функций.

3. Числовые значения вероятностных параметров $P_i = P_i(t)$ элементов исследуемой системы. Эти данные необходимы для выполнения расчетов различных системных характеристик по формируемым расчетным вероятностным моделям.

Этап-II. Построение логической функции работоспособности системы. Разрабатываемая на первом этапе ЛВМ формализованная структурная модель должна точно и однозначно представлять конкретные условия функционирования каждым элементом исследуемой системы. Если эти условия не меняются в процессе функционирования системы, то ее структурная схема остается постоянной. Тогда каждому режиму ее работы или использования, определяемому логическим критерием, должна точно и однозначно соответствовать логическая функция работоспособности системы (ФРС)

Этап-III. Построение вероятностной функции. В общем случае конкретных форм расчетных моделей может быть несколько, например, аналитические (многочлены вероятностных функций), статистические (правила проведения статистических расчетов), марковские (граф переходов состояний системы, матрица переходных вероятностей, системы дифференциальных или алгебраических уравнений).

Этап-IV. Выполнение расчетов системных вероятностных характеристик:

- вероятность безотказной работы $P(t)$;
- вероятность отказа $Q(t)$;
- интенсивность отказов $\lambda(t)$;
- средняя наработка до отказа (T_0);
- наработка на отказ (T_0);
- среднее время восстановления (T_B);
- коэффициент готовности (K_T);
- коэффициент вынужденного простоя ($K_{П}$);
- коэффициент отказов (k_0);

В случае построения модели функционирования дизельного двигателя система велика, критерии сложные, логические функции не могут быть построены вручную из-за высокой трудоемкости выполнения этой процедуры. Поэтому модель функционирования дизельного двигателя предлагается выполнить с помощью автоматизированного структурно-логического моделирования пакета программ АСМ (автоматизированное структурно-логическое моделирование), разработанного на базе общего логико-вероятностного метода моделирования и анализа надежности,

живучести и безопасности структурно-сложных систем.

Определение собственных вероятностных параметров элементов часто называют «проблемой исходных данных», учитывая те большие трудности, которые порой возникают при поиске достоверных исходных значений. В случае использования ЛВМ эта проблема практически ничем не отличается от аналогичных проблем, возникающих при использовании других вероятностных методов анализа систем. Практика показала, что конструктивное решение проблемы исходных данных должна осуществляться отдельно от ЛВМ. В ее решении должны учитываться особенности исследуемых систем. Для инженерного анализа надежности систем, значения исходных вероятностных параметров элементов могут быть получены на основе сбора и обработки статистического материала по отказам и ремонту исследуемых или однотипных средств и систем, а также методом «экспертной» оценки [3].

Работа любого дизеля сопровождается множеством сопутствующих процессов: излучение теплоты, вибрация, распространение шума, накопление в смазочном масле продуктов изнашивания трущихся деталей и др. Параметры этих процессов достаточно полно отражают техническое состояние и качество функционирования дизеля и содержат необходимую для диагностирования информацию, т. е. появление какой-либо неисправности будет сопровождаться изменением какого-либо параметра (параметров), которое можно зафиксировать с помощью измерительного комплекса. Таким образом, представляется возможным все возможные неисправности (или почти все) «разбить» на группы по изменению контрольного параметра. В целях выявления конкретной неисправности авторы предлагают рассматривать только ранее определенную «подгруппу», применяя теорему Байеса.

Для проверки работоспособности и адекватности, предложенной методики оценки технического состояния дизельного двигателя было проведено экспериментальное исследование на базе дизель-генераторной установки Д-144.23.10 (4Ч10,5/12), оснащенной штатными системами. Испытания были проведены в пять этапов. На каждом этапе решалась конкретная задача исследований.

I-й этап: регистрация основных технологических параметров работы дизельного двигателя 4Ч10,5/12 в исправном состоянии;

II-й этап: регистрация основных технологических параметров работы дизельного двигателя 4Ч10,5/12 при имитации неисправностей.

Моделирование неисправностей проводилось на исправном, отрегулированном дизельном

Таблица 1

Состояние	Чем моделировалось
Исправный дизель	—
Загрязнение выпускного тракта	Уменьшение проходного сечения выпускного тракта
Загрязнение воздушного фильтра	Уменьшение проходного сечения выпускного тракта
Неисправна форсунка	Отключение форсунки
Засорен топливный фильтр	Уменьшение сечения топливопровода

двигателе в соответствии с планом, представленным в табл. 1.

Разработана логическая функция работоспособного состояния экспериментальной установки на базе дизельного двигателя 4Ч10,5/12, которая в графической форме представлена на рис. 2.

Но в связи с ограниченными возможностями имеющегося измерительного комплекса, невозможностью его модернизации, недостатком статистических данных и открытой информации об опыте эксплуатации данных двигателей в предложенной модели учитывались только неисправности, которые оказалось возможным смоделировать в ходе проведения экспериментальных исследований.

Для контроля основных технологических параметров дизельная установка (1) дооснащена: датчиком давления в контрольном цилиндре, для качественной и количественной оценки показателей рабочего процесса в цилиндрах дизеля, PE

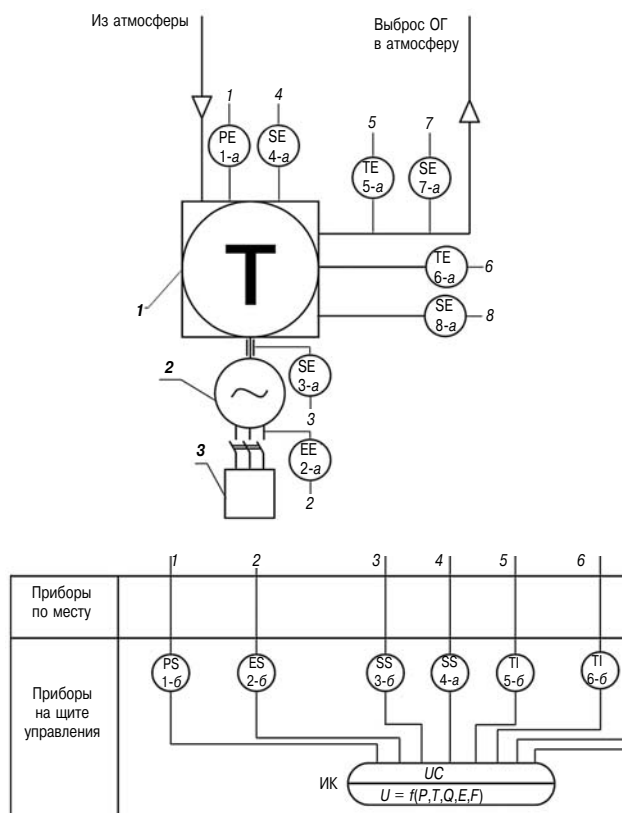


Рис. 1. Функциональная схема системы

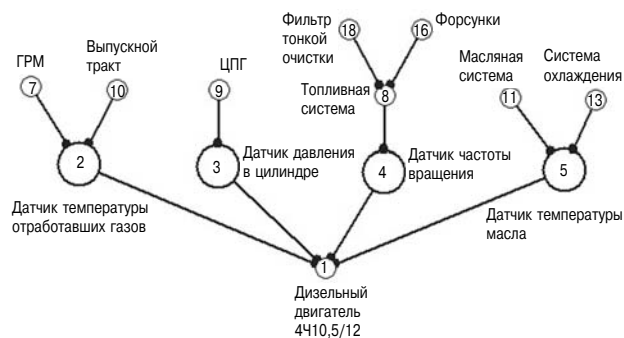


Рис. 2. ФРС экспериментальной установки на базе дизельного двигателя 4Ч10,5/12

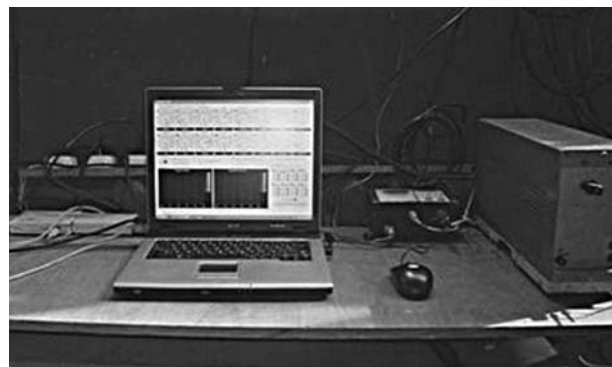


Рис. 3. Блок управления

(линия 1), датчиком частоты вращения коленчатого вала двигателя SE (линия 3), датчиком положения поршня в контрольном цилиндре SE (линия 4), датчиком температуры отработавших газов, TE (линия 5), пирометр TE (линия 6), дымомер SE (линия 7), виброметр SE (линия 8). Для измерения активной мощности генератора (2) в линии 2 измерительного комплекса установлен датчик активной мощности EE. Информация от датчиков поступает в блок управления (рис. 3) для последующей обработки и регистрации. Функциональная схема системы контроля основных технологических параметров представлена на рис. 1.

На первом этапе экспериментальных исследований производилась регистрация основных технологических параметров работы полностью исправного и отрегулированного дизельного двигателя 4Ч10,5/12. Основными контролируруемыми технологическими параметрами являлись:

температура отработавших газов (T_T), максимальное давление в цилиндре (p_z), расход топлива (b_c), температура масла (T_M). Полученные исходные данные были обработаны с помощью пакета прикладных программ «STATISTICA 6.1», «Excel», в результате чего получены расчетные значения для моделирования. Результаты обработки исходных данных представлены на рис. 4–7.

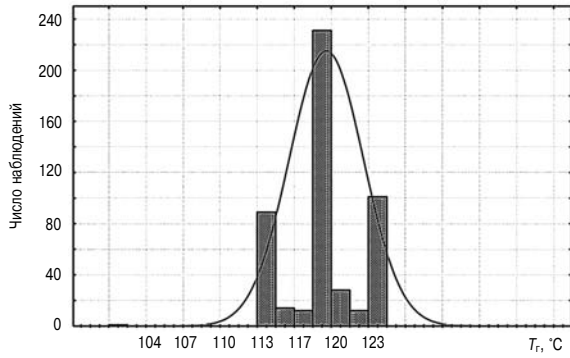


Рис. 4. Результат обработки данных (T_T)

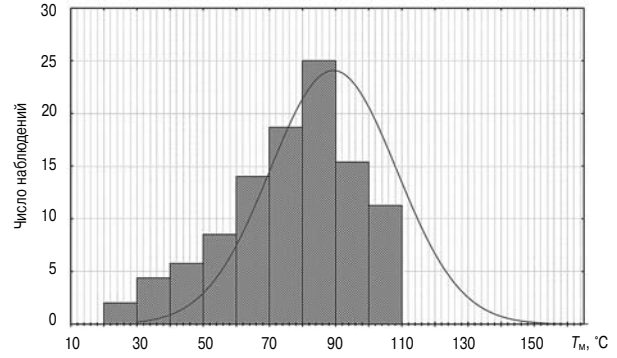


Рис. 5. Результат обработки данных (T_M)

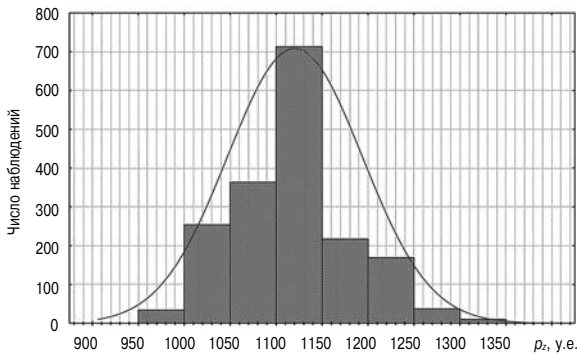


Рис. 5. Результат обработки данных (p_z)

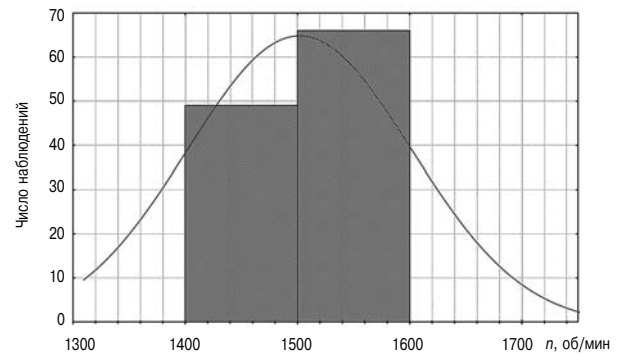


Рис. 7. Результат обработки данных ($n_{об}$)

На основании анализа результатов обработки исходных данных первого этапа были получены следующие расчетные значения для моделирования:

$$P_{T_T} = 0,908; P_{p_z} = 0,881; P_{T_M} = 0,800; P_{n_{об}} = 0,914.$$

Далее, с помощью автоматизированного структурно-логического моделирования (пакета программ АСМ (автоматизированное структурно-логическое моделирование), разработанного на базе общего логико-вероятностного метода моделирования и анализа надежности, живучести и безопасности структурно-сложных систем, получены следующие результаты:

$$KГ_c = 0,997037597320 — коэффициент готовности системы;$$

$$T_{oc} = 875 — наработка между отказами системы (час);$$

$$T_{bc} = 1,602775 — ср.время восстановления (час);$$

$$W_c = 9,970376 — частота отказов системы (1/год);$$

$$Q_{c(500)} = 0,233957 — приближительная вероятность отказа системы в целом.$$

Результаты обработки исходных данных экспериментальных исследований представлены в табл. 2.

С использованием пакета программ АСМ для второго этапа экспериментальных исследований получены следующие результаты:

$$KГ_c = 0,884864276389 — коэффициент готовности системы;$$

$$T_{oc} = 82 — наработка между отказами системы (час);$$

$$T_{bc} = 2,060595 — ср.время восстановления (час);$$

$$W_c = 93,795613 — частота отказов системы (1/год);$$

$$Q_{c(500)} = 0,995269 — приближительная вероятность отказа системы в целом.$$

Из анализа результатов экспериментальных исследований видно, что при имитации неисправности показатели надежности значительно изменились в худшую сторону. Следующей задачей будет являться выявление конкретной неисправности, которая привела к снижению показателей надежности. Видно, что снижение показателей надежности произошло вследствие неисправности в подгруппе «датчик температуры отработавших газов». Из рассмотрения СФЦ экспериментальной установки на базе дизельного двигателя 4Ч10,5/12 следует, что причиной этому

Таблица 2

№ п/п	Моделируемая неисправность	P_{T_T}	P_{p_z}	$P_{n_{об}}$	P_{T_M}
1	Нормальная работа	0,908	0,881	0,914	0,800
2	Загрязнение выпускного тракта	0,10	0,881	0,914	0,800
3	Загрязнение топливного фильтра	0,908	0,881	0,075	0,800
4	Неисправная форсунка	0,908	0,881	0,025	0,800

Таблица 3

Наименование возможной неисправности	Априорное значение вероятности	Постаприорное значение вероятности
Неисправность ГРМ	0,35	0,2
Загрязнение выпускного тракта	0,65	0,8

могут быть неисправности газораспределительного механизма и засорение выпускного тракта. Для решения поставленной задачи целесообразно воспользоваться теоремой Байеса. Априорные и постаприорные вероятности представлены в табл. 3.

В соответствии с положениями теоремы Байеса находится вероятность того, что к снижению показателей надежности привела:

- неисправность ГРМ — 11,8 %;
- засорение выпускного тракта — 88,1 %.

Видно, что наиболее вероятной причиной неисправности является засорение выпускного тракта, именно таким образом имитировалась неисправность.

Таким образом, в ходе проведения экспериментальных исследований была проверена работоспособность предложенной методики диагностирования дизельных двигателей. По мнению авторов статьи, дальнейшие исследования по данной тематике могут быть связаны с детализацией логической функции работоспособного состояния, накопления статистических данных по наиболее распространенным моделям и типоразмерам дизельных двигателей и создания универсального диагностического комплекса.

Литература

1. Мельников В.А., Раимов М.М. Логико-статистический метод оценки надежности и живучести энергетических систем: учеб. пособие. — СПб.: ВИТУ, 2001.
2. Можяев А.С. Общий логико-вероятностный метод анализа надежности сложных систем: учеб. пособие. — Л.: ВМА, 1988.
3. Можяев А.С., Громов Б.Н. Теоретические основы общего логико-вероятностного метода автоматизированного моделирования систем. — СПб.: ВИТУ, 2001

РИА НОВОСТИ

РИА-АНАЛИТИКА: МАШИНОСТРОЕНИЕ ПОЧТИ ДОСТИГЛО ДОКРИЗИСНОГО УРОВНЯ

По оценке экспертов «РИА-Аналитика», объем производства в российском машиностроении в I полугодии отставал от докризисного уровня всего на 5 %. На фоне многих других отраслей промышленности это довольно неплохой показатель. Однако, как отмечается в бюллетене «Машиностроение: тенденции и прогнозы. Итоги I полугодия 2011 года», подготовленном экспертами Центра экономических исследований «РИА-Аналитика», такого результата удалось достичь за счет гипертрофированного роста в одних сегментах машиностроительного комплекса при одновременном сохранении глубокого спада производстве в других.

Рост производства в машиностроении по сравнению с I полугодием прошлого года составил более 20 % — это лучший результат среди всех отраслей обрабатывающего комплекса промышленности. При этом основной вклад (более 40 %) в положительную динамику машиностроительного комплекса внесло автомобилестроение, а вернее — производство легковых автомобилей, которое на 12 % превзошло докризисный уровень. Основная заслуга такого результата лежит на стимулирующих мерах правительства — утилизационной программе, льготном автокредитовании, высоких импортных пошлинах. Каждый пятый автомобиль в России по итогам полугодия был продан за счет стимулирующих программ.

Также небывалые результаты отмечены в производстве грузовых вагонов. Их выпуск уже почти в полтора раза превысил докризисный уровень. Внутренний рынок грузовых вагонов сейчас пребывает в остром дефиците. Однако наравне с факторами рыночного характера, как то наращивание парка вагонов независимыми железнодорожными операторами и

увеличение грузоперевозок в связи с реализацией масштабных госпроектов, дефицитное состояние рынка обусловлено перебоями в системе диспетчеризации вагонопотоков. Об этом свидетельствуют часто возникающие в последнее время заторы вагонов на подступах к морским портам. Таким образом, ажиотажный спрос на вагоны отчасти является переоцененным, и этот пузырь может лопнуть, как только взаимодействие между независимыми операторами и РЖД станет более эффективным.

Наконец, третьей точкой роста в машиностроении сейчас является производство крупного энергетического оборудования, а именно турбин, выпуск которых также достиг рекордного результата по итогам полугодия. В немалой степени такой результат получен за счет восстановления Саяно-Шушенской ГЭС, а также за счет амбициозных планов энергокомпаний по вводу в эксплуатацию новых мощностей.

В большинстве других отраслей машиностроения уровень производства остается на крайне низком уровне. Производство грузовых автомобилей только сейчас вышло по объему на результат семилетней давности, выпуск зерноуборочных комбайнов на треть отстает от докризисного уровня, производство башенных кранов по-прежнему осуществляется в штучном режиме, как и производство гражданских самолетов, а в судостроении третий год подряд наблюдается негативная динамика производства.

При этом прекращение действия утилизационной программы может замедлить темпы роста в машиностроении в целом. Компенсировать это замедление может только рост спроса на инвестиционное оборудование со стороны реального сектора экономики.

Источник информации: РИА Новости