

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО ПОДБОРА ПРЕПАРАТОВ ПО СОСТОЯНИЮ ДВИГАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА КАРТЕРНОГО МАСЛА

В.Б. Ломухин

Существующая модель диагностирования

Построение детерминированной модели изнашивания пар трения дизеля, очевидно, невозможно из-за ее комбинаторной сложности. До конца неизвестна и физика процессов изнашивания [1,2,4]. В этом случае приемлема статистическая модель, описанная многими исследователями [2,3,4,6,7].

$$K = K_0 \exp\left(-\frac{q_d + q_f}{Q} \cdot t\right) + \frac{q}{q_d + q_f} \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{q_d + q_f}{Q} \cdot t\right)\right], \quad (1)$$

где K_0 – начальная концентрация продуктов изнашивания в масле, кг/кг;

q_d – интенсивность долива масла, кг/ч;

q_f – интенсивность фильтрации масла, кг/ч;

Q – количество масла в смазочной системе, кг;

q – интенсивность поступления продуктов изнашивания в масло, кг/ч;

t – время работы от смены масла, ч.

Результатом исследований, в основе которых лежит описанная модель, оказался принцип стабилизации концентрации продуктов изнашивания в масле при нормальной, без неисправностей работе дизеля. Данная модель неоднократно подтверждала свою работоспособность [2,5,8].

Методика расчёта статистических порогов.

Работа системы диагностирования дизелей по параметрам циркуляционного масла происходит только в том случае, когда есть статистические пороги предельных значений этих параметров. Например, для содержания (концентрации) железа в масле необходим такой порог, что если текущая концентрация железа окажется выше него, то дизелю ставится диагноз – неисправен.

Такие пороги рассчитываются параллельно с данными анализов. На ЭВМ поступает информация о действительном состоянии дизелей, о действительно произошедших неисправностях. В соответствии с общим алгоритмом функционирования, предложенным Л.А. Шеромовым [9], строятся гистограммы и

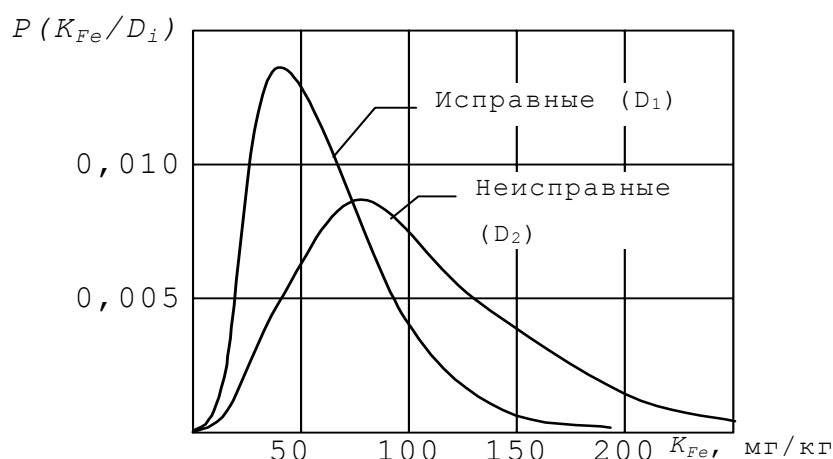


Рис. 1. Распределение вероятностей двух диагнозов дизелей Г70–5

подбираются распределения вероятностей. Характерный вид полученных кривых показан на рис. 1. На рисунке по оси абсцисс отложена концентрация (содержание) железа в смазочном масле дизелей Г70–5, установленных на буксирах–толкачах проекта 428.2. По оси ординат отложена плотность распределения вероятности.

Идея построения статистических порогов распознавания основана на известных понятиях вероятностей ложной тревоги или пропуска дефекта при постановке диагноза и уже успешно реализована [7, 8, 10].



Рис. 2. Статистические пороги распознавания

При ложной тревоге исправный дизель принимается неисправным (вместо диагноза D_1 принимается диагноз D_2). При пропуске дефекта (неисправности) неисправный дизель принимается исправным (вместо D_2 принимается D_1).

Интегрируя, полученные на основе реального статистического материала распределения, получаем возможность, построить пороги предельных значений элементов-индикаторов.

Если принять величину надежности диагноза равной 0,95, что соответствует уровню необходимой надежности двигателей, отказ которых не грозит немедленной гибелью людей, то можно отложить уровень $1 - 0,95 = 0,05$ на интегральных кривых (рис. 2). Уровень пересечет эти кривые в точках A и B. Видно, что при получении текущего анализа, попавшего левее точки A, дизель можно считать исправным с вероятностью большей 0,95; правее точки B – дизель неисправен с вероятностью большей, чем 0,95. Между точ-

ками A и B находится зона отказа от распознавания (зона неопределенности), которая вполне естественна для всех методов распознавания образов.

Приведенные выше рассуждения действительны, если считать интегральные кривые детерминированными зависимостями. Для выборки пороги A и B будут несколько размыты, в соответствии с группировкой точек реальной статистической совокупности вокруг интегральных прямых.

При работе диагностической модели в реальных условиях, оказалось, что она требует усовершенствований и изменений, что вполне закономерно.

Автором усовершенствована модель вычисления порогов ложной тревоги и пропуска дефекта [11]. Предложено непрерывное, по мере поступления диагностической информации, их изменение и соответствующий метод их пересчета.

Обычно по известному из зимнего осмотра техническому состоянию каждого ДВС

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО ПОДБОРА ПРЕПАРАТОВ ПО СОСТОЯНИЮ ДВИГАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА КАРТЕРНОГО МАСЛА

данные анализов разделяются на группы исправных и неисправных двигателей (см. выше). Полученные группы существенно перекрывают друг друга (см. рис 1). Такое разделение на исправные и неисправные группы только по данным зимнего осмотра дизелей не учитывает, что в какое-то время в течение навигации двигатель перешел в другое состояние – из исправного в неисправное или наоборот. А результаты анализа относятся к прежней категории.

Принимая гипотезу о нормальном распределении скорости изменения концентрации железа во времени и задаваясь долей членов генеральной совокупности $p=95\%$, которая должна попасть в выборку с доверительной вероятностью $\gamma = 0,95$, используя зависимости приведенные в работе [11], получаем границы

$$X_H = X_{cp} - K \cdot S, \quad (2)$$

$$X_B = X_{cp} + K \cdot S, \quad (3)$$

где X_H , X_B – нижняя и верхняя границы;

X_{cp} , S – выборочная средняя и выборочная дисперсия;

$K = f(n, \gamma, p)$ – коэффициент толерантности;

n – объем выборки.

Задаваясь значениями $p=95\%$, $\gamma=95\%$ и имея объем выборки $n=279$, находим табличное значение $K= 2,065$. Далее получаем область скорости изменения концентрации в смазочном масле с границами для конкретного элемента– индикатора для области исправных ДВС. Область скорости изменения концентрации в смазочном масле с границами для конкретного элемента– индикатора для области исправных ДВС C_{Hi} – нижняя граница и C_{Bi} – верхняя граница. В работе [11] указаны конкретные значения, например для

элемента–индикатора железо нижняя граница – $3,5 \text{ (мг/кг)/ч}$, а верхняя $4,3 \text{ (мг/кг)/ч}$.

Далее следует разделение навигационных результатов анализа смазочного масла по индивидуальным двигателям, по правилу:

$$C_{Hi} < C_i < C_{Bi}, \quad (4)$$

то индивидуальный двигатель во время сдачи i – пробы принимается исправным, а концентрация, соответствующая данной пробе C_i , относится к области исправных двигателей. Если неравенство (4) нарушено, то C_i относится к области неисправных двигателей.

После формирования областей концентраций по исправным и неисправным ДВС, дальнейшие расчеты производятся согласно методике изложенной выше.

В результате получаем статистические пороги распознавания и «зону отказа от распознавания», которая уменьшилась.

Применение метода диагностирования по спектральному анализу смазочного масла к подбору препаратов для улучшения технического состояния двигателя и других механизмов.

Существует возможность связать текущее техническое состояние с возможностью применения препарата для дизеля, который улучшит его работу. Для этого применим значения контрольных уровней [12].

Исходным будем считать пороговое значение A , соответствующее X_0 как нормальному уровню диагностического параметра, например железа (Fe). Предупредительный уровень (отклонение Δ_1) и предельный уровень (отклонение Δ_2 на рис. 3). До достижения текущей концентрацией, параметром $X(t)$ отклонения $X_0 + \Delta_1$ – применяем препарат, входящий в соответствующую группу (препараты по механизму действия разделяются на группы).

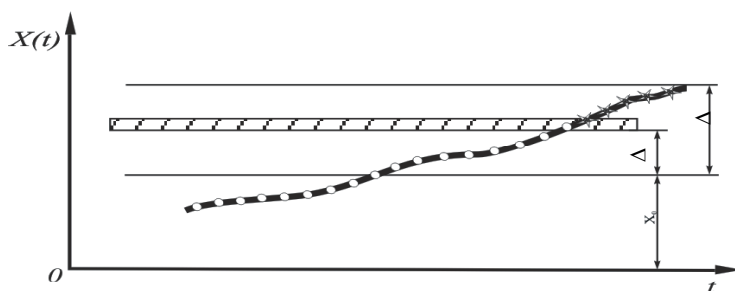


Рис. 3. Оценка отклонений по предельным уровням

В соответствии с вышеизложенным получаем правило принятия решения для применения препаратов по текущему техническому состоянию:

Если $x_i < x_0$, то применимы геомодификаторы;

Если $x_i > x_0 + \Delta_1$, то применимы кондиционеры металла;

Если $x_0 + \Delta_1 < x_i < x_0 + \Delta_2$, то применимы реметализанты;

Если $x_i > x_1$, то применение препаратов не целесообразно, необходим традиционный ремонт механизма.

Здесь

x_i – текущее значение концентрации металла в смазочном масле.

x_1 – пороговое значение для неисправного состояния (порог B);

x_0 – пороговое значение для исправного (порог A).

Таким образом, может быть решена проблема выбора препарата именно по текущему техническому состоянию двигателя внутреннего сгорания (механизма).

При опытной апробации описанного выше подхода на двигателях автомобилей, отмечено уменьшение шума, снижение расхода моторного масла, значительное уменьшение расхода топлива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Орлов Т.В., Лазебная Г.В., Протопопова Н.П., Ломухин В.Б. Влияние бария на интенсивность спектральных линий элементов-индикаторов изнашивания в моторных маслах // Повышение уровня технической эксплуатации судовых дизелей. – Новосибирск: 1987, С. 12–20
2. Шеромов Л.А. Основные направления технической диагностики ДВС на речном флоте //

Труды НИИВТ. – вып. 133. – Новосибирск: 1978, С. 148–151

3. ГОСТ 20 759–81. Дизели тепловозов. Техническое диагностирование и прогнозирование остаточного ресурса методом спектрального анализа масла. Общие правила. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – С. 24

4. Чанкин В.В. Спектральный анализ масел в транспортных двигателях и методы контроля их состояния без разборки. – М.: Транспорт, 1967. – 84 с.

5. Викулов С.В., Сорокин Н.Н. О диагностическом алгоритме контроля технического состояния судовых дизелей по параметрам работающего масла // Двигателестроение, – 1983. – 6. – 32–34 с.

6. Голещихин Ю.И., Ломухин В.Б. Техническая диагностика судовых дизелей по комплексному анализу масла – М.: ЦБНТИ, 1990. – вып. 1. – 30 с.

7. Викулов С.В., Шеромов Л.А. Диагностика судовых ДВС по параметрам работающего масла на основе спектрального анализа // Труды НИИВТа. – Новосибирск, 1981. – вып. 158. – С. 39–48

8. Шеромов Л.А., Сорокин Н.Н., Кононов А.Ф., Ломухин В.Б. Стандарт предприятия. Система диагностирования дизелей по методу комплексного анализа смазочного масла СТП 314. 0–01–88. – Новосибирск, 1988. – 79 с.

9. Шеромов Л.А. Системный подход к моделированию диагностируемых объектов // Совершенствование технической эксплуатации СЭУ и исследование процессов в судовых дизелях. – Новосибирск, 1986. – С. 5–6

10. Викулов С.В., Шеромов Л.А. Оптимизация алгоритма технического диагностирования – в книге: Повышение эффективности технической эксплуатации СЭУ // Труды НИИВТа. – Новосибирск, 1983. – вып. 158. – С. 68–77

11. Ломухин В.Б. Оценка технического состояния дизеля по скорости изменения содержания металла в смазочном масле // в сб. «Повышение уровня технической эксплуатации дизелей речного флота». – Новосибирск, 1988. – С. 45–48

12. Биргер И.А. Техническая диагностика. – М.: Машиностроение, 1978 – 240 с.