КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ УЧЕБНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УДК 658.274

Б.Г. Мартынов

Мартынов Борис Григорьевич родился в 1950 г., окончил в 1967 г. Ленинградский институт точной механики и оптики, кандидат технических наук, профессор кафедры технологии лесозаготовительных производств С.-Петербургской государственной лесотехнической академии. Имеет более 50 научных трудов в области разработок методов и средств технической диагностики машин.

ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРА ИЗМЕНЕНИЯ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ВЫБОР СТРАТЕГИИ ЭФФЕКТИВНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МАШИНЫ

Приведен класс аналитических функций моделей диагностики, использующийся для определения стратегии эффективной эксплуатации лесных машин.

Ключевые слова: аналитические функции моделей, стратегия эффективной эксплуатации, лесные машины.

Ранее нами [1] был сформулирован выбор стратегии эффективной эксплуатации машин по результатам диагностирования. Для этой цели введено понятие относительной вероятности $r(t)$, которая равна разности между вероятностью безотказной работы и вероятностью отказа и изменяется от +1 до –1. Тем самым обеспечивается представление аддитивной системы на множестве чисел от +1 до –1, в отличие от просто вероятности. Далее, на кривой относительной вероятности по результатам текущего технического состояния агрегатов машины рассчитаны характерные точки (кванты), определяющие необходимые воздействия на машину для ее эффективной эксплуатации.

В настоящей работе рассмотрен вопрос выбора класса аналитических моделей диагностики, наилучшим образом влияющих на определение стратегии эффективной эксплуатации машины.

Рассмотрим решение данной задачи на примере диагностирования двигателей внутреннего сгорания в простейшем случае, когда плотность распределения структурного параметра подчиняется нормальному закону. При этом диагностический параметр связан со структурным линейной зависимостью, например вида $y = ax \pm b$.

Согласно закона распределения монотонной функции случайного аргумента [1], функция распределения диагностического параметра будет выглядеть следующим образом:

$$g(y) = f(\varphi(y)) \cdot \varphi`(y). \qquad (1)$$

Так как случайная величина структурного параметра подчинена нормальному закону распределения, то

$$f(x) = \left(\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\right) e^{\frac{-(x-m)^2}{2\sigma^2}}, \qquad (2)$$

где σ – среднее квадратическое отклонение случайной величины x;
m – математическое ожидание случайной величины x.

Величину структурного параметра x выразим через диагностический параметр y, тогда

$$x = (y - b)/a, \qquad (3)$$

где y – значение диагностического параметра;
a, b – коэффициенты линейной зависимости.

Для того, чтобы найти $\varphi`(y)$ необходимо взять производную по y функции (3):

$$\varphi`(y) = 1/a. \qquad (4)$$

Функцию $f(\varphi(y))$ получают из $f(x)$ путем подстановки величины x из уравнения (3).

Таким образом, функция распределения диагностического параметра

$$g(y) = \frac{1}{a\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\frac{y-b}{a}-m)^2}{2\sigma^2}}. \qquad (5)$$

Тогда вероятность отказа в интервале $0 - t$

$$P(t) = \int_0^t g(y)dy = \frac{1}{2}\mathrm{erf}\left[\frac{1}{2}\sqrt{2}\,\frac{(t-ma-b)}{a\sigma}\right] + \frac{1}{2}\mathrm{erf}\left[\frac{1}{2}\sqrt{2}\,\frac{(ma+b)}{a\sigma}\right]. \qquad (6)$$

Удобнее всего данную задачу решать графическим методом.

На рис. 1 для дизеля ЯМЗ–238 приведены зависимости вероятности отказов $P(t)$ по результатам диагностирования общего технического состояния, вероятности безотказной работы $Q(t)$ по статистическим данным и относительной вероятности $r(t)$.

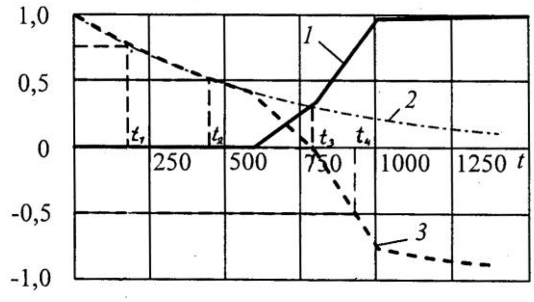


Рис. 1. Изменение вероятностей дизеля ЯМЗ-238: *1* – вероятность отказов $P(t)$; *2* – вероятность безотказной работы $Q(t)$; *3* – относительная вероятность

Из рис. 1 следует, что время первого диагностирования t_1 соответствует 190 моточасам, время второго диагностирования t_2 – 480 моточасам; диапазон от t_2 до t_4 (480 … 845 моточасов) – область обслуживания двигателя; оптимальное время текущего обслуживания и ремонта t_3 составляет 780 моточасов.

Анализируя зависимости, представленные на рис. 1 и формулу 6, можно сделать следующие выводы:

увеличение значения среднеквадратического отклонения влечет за собой изменение формы кривой вероятности отказов $P(t)$ на более плавную, что в свою очередь увеличивает вероятность отказов;

если в квантовой точке t_1 значение вероятности отказов $P(t) > ½$ и значение вероятности безотказной работы $Q(t) > ½$, то данный параметр не является информативным для целей выбора времени профилактики. Это происходит, когда значения математического ожидания и среднеквадратического отклонения мало отличаются от коэффициентов уравнения связи диагностического и структурного параметров, т.е. $a \approx b \approx m \approx \sigma$.

Рассмотрим случай, когда плотность распределения структурного параметра подчиняется закону Релея. Диагностический параметр связан со структурным *линейной зависимостью* $y = ax \pm b$.

Тогда

$$f(x) = \left(\frac{x}{\sigma^2}\right) \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right), \tag{7}$$

где x – значение структурного параметра, например зазора в ЦПГ;

σ – среднее квадратическое отклонение случайного параметра x.

Применив уравнение (1), получим выражение для функции распределения диагностического параметра

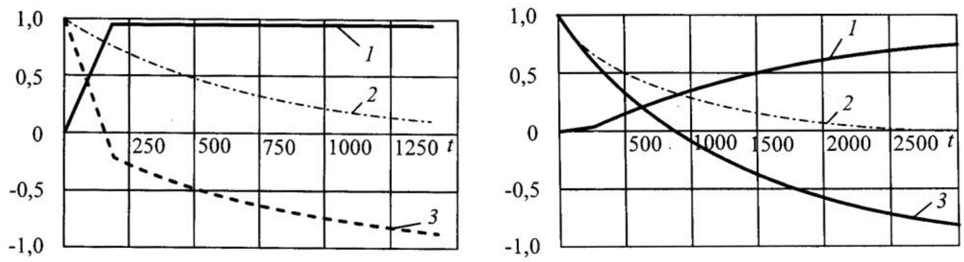
$$g(y) = \frac{y-b}{a\sigma^2} \exp\left[-\frac{(y-b)^2}{2a^2\sigma^2}\right]. \tag{8}$$

Вероятность отказов в этом случае

$$P(t) = \int_0^t g(y)dy = a\exp\left(-\frac{b^2}{2a^2\sigma^2}\right) - a\exp\left[-\frac{(b-t)^2}{2a^2\sigma^2}\right]. \tag{9}$$

На рис. 2, *а* представлены кривые $Q(t)$, $P(t)$ и $r(t)$ для данного характера изменения структурного и диагностического параметров.

Анализируя данные зависимости можно сделать вывод, что квантовая точка t_1 равна 60 моточасам, а точка t_2 – 170 моточасам. Вероятность отказов при этом составляет 0,79, что говорит о невозможности использовать данный параметр для целей выбора стратегии. Кроме этого, из уравнения (9) следует, что при таком характере изменения параметров корреляция между диагностическим и структурным параметрами должна быть высока, так как величина среднеквадратического отклонения диагностического па-



а *б*

Рис. 2. Изменение кривых вероятностей (см. обозначения на рис. 1): *а* – линейная зависимость; *б* – степенная зависимость

раметра не должна превышать значения 2,3, иначе уравнение (9) становиться бессмысленным.

Представим, что плотность распределения структурного параметра подчиняется закону Релея. Диагностический параметр связан со структурным *степенной зависимостью* вида $y = ax^2 + cx + b$.

Функция плотности распределения диагностического параметра будет иметь следующий вид:

$$g(y) = \left[\frac{\sqrt{c^2 - 4a(b-y)} - c}{2a^2\sigma^2 \sqrt{c^2 - 4ab + 4ay}} \right] \exp\left[- \frac{\left[\sqrt{c^2 - 4a(b-y)} - c \right]^2}{8a^2\sigma^2} \right]. \quad (10)$$

Вероятность отказов по результатам диагностирования

$$P(t) = \int_0^t g(y)d(y) = \exp\left[- \frac{(c^2 - \sqrt{c^2 - 4ab})^2}{8a^2\sigma^2} \right] - \exp\left[- \frac{(\sqrt{c^2 - 4ab + 4at} - c)^2}{8a^2\sigma^2} \right]. \quad (11)$$

На рис. 2, *б* представлены кривые вероятностей с данным характером изменения параметров.

Из анализа зависимостей, представленных на рис. 2, *б* и уравнения (11), следует что если диагностический параметр связан со структурным данного вида зависимостью, то он является информативным для определения квантовых точек эффективной эксплуатации; квантовая точка t_1 равна 90 моточасам, t_2 – 353 моточасам, оптимальное время текущего обслуживания и ремонта t_3 – 870 моточасам, квантовая точка t_4, соответствующая значению $r(t) = -$ ½, – 1750 моточасам (при этом вероятность отказов $P(t)$ не превышает 0,55).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Базаров С.М.* Обоснование индивидуальной стратегии эффективной эксплуатации лесных машин по результатам диагностирования / С.М. Базаров, Б.Г. Мартынов // Изв. СПб ГЛТА. – 2005. – Вып. 172.

2. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1969. – 564 с.

С.-Петербургская государственная
лесотехническая академия

Поступила 11.01.05

B.G. Martynov

Influence of Character for Controlled Parameters Change on Selecting Strategy for Efficient Operation of Individual Machine

A class of analytical functions of diagnostic models to be used for setting strategy of efficient operation of forest machines is provided.