

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ОТКАЗОВ И ОСОБЕННОСТЬ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ СТАРЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**В.С. Перехрест, Е.А. Кривонос, А.А. Чебукина**

*ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет» Новороссийский политехнический институт*

*К.Маркса ул., д. 20, Новороссийск, 353900*

*Телефон: (8617) 61-29-71; e-mail: [oid@nbkstu.org.ru](mailto:oid@nbkstu.org.ru)*

Перевод технических объектов с системы планово-предупредительного ремонта, на их ремонт по «состоянию» является одной из актуальных задач народного хозяйства страны. Целью исследования является определение вида прогнозирующих моделей изменения определяющего технического состояние параметров устройств автоматики пассажирских вагонов отечественного и зарубежного производства. В результате исследований было установлено, что изменения основных определяющих параметров данных устройств с большой точностью аппроксимируются полиномами первого порядка. Исследования выявили возможность с доверительной вероятностью 0,95 определить время перехода исследуемых устройств из исправного состояния, в неисправное. Что в дальнейшем позволяет в эксплуатации заранее предупреждать технические отказы этих устройств.

Ключевые слова: определяющий параметр, испытание на надежность, прогнозирование, математическое моделирование, обработка результатов испытаний.

Каждый объект (техническое устройство) можно характеризовать определяющим параметром  $y(t)$ , который служит мерой качества этого объекта. В общем случае определяющий параметр может быть векторным, т.е. иметь несколько составляющих. Определяющий параметр объекта, случайно изменяясь в процессе работы или хранения, может достигнуть критического значения, при котором состояние объекта считается неудовлетворительным (происходит отказ объекта). Это критическое значение определяющего параметра устанавливается постоянным для группы находящихся в работе или на хранении одинаковых элементов, не соединенных в систему, или одинаковых систем. Если рассматривать состоящие из многих элементов системы, то критическое значение параметра для каждого элемента будет определяться местом элемента в принципиальной схеме системы и состоянием других элементов.

Критическое значение определяющего параметра будем часто называть границей рабочей области (поля допуска) или просто границей.

При изнашивании наряду с постепенными отказами наблюдается некоторое количество грубых внезапных отказов объектов.

Любой отказ объекта связан со случайным процессом (в общем случае векторным) изменения определяющего параметра и происходит при достижении этим параметром критических значений (границы рабочей области).

Рассмотрим основные особенности случайных процессов изменения определяющих параметров объектов, которые в основном можно считать нормально распределенными.

Рассматриваемые случайные процессы являются суммой двух случайных процессов:

1. Кратковременные обратимые изменения параметров происходят из-за колебаний внешних условий. Эти процессы часто можно аппроксимировать стационарными случайными функциями времени. Однако, корреляционные функции таких процессов, пока еще не известны. Возможность возникновения обратимых изменений параметров элементов стараются избегать при конструировании систем. Поэтому отказы из-за таких изменений параметров элементов возникают сравнительно редко.
2. Долговечные необратимые изменения параметров происходят в результате изнашивания, старения и разрегулирования. Эти нестационарные случайные процессы изменения параметра (процессы изнашивания) являются основной причиной отказов элементов и устройств.

Для случайных процессов изнашивания типичны весьма жесткие связи между значениями параметра элемента в последовательные моменты времени. На вид реализации случайного процесса изнашивания оказывают большое влияние физико-химическая структура вещества и технология изготовления

элемента. Каждый тип элемента имеет свою типичную кривую износа; однотипные элементы дают близкие по форме кривые износа, но с различными параметрами. Иначе говоря, модели процессов изнашивания целесообразно выбирать среди случайных процессов, которые имеют определенную функциональную зависимость от времени, а их случайный характер обуславливается случайными параметрами, не зависящими от времени.

Определение типичных кривых износа различных деталей и материалов является целью многих экспериментальных исследований.

Постепенные отказы являются случайными в том смысле, что заранее известен характер изменения определяющего параметра каждого конкретного технического объекта из множества одинаковых объектов. Вместе с тем, если продолжительное время наблюдать изменение определяющего параметра некоторого объекта, то можно с большой долей уверенности предсказать дальнейшее изменение его параметра и, следовательно, момент появления постепенного отказа данного, находящегося по наблюдением объекта.

Поэтому возможны два пути предсказания постепенных отказов изделий:

-путем выявления свойств случайных процессов изменения определяющих параметров по множеству реализаций этих процессов, т.е. путем обобщения опыта эксплуатации многих однотипных объектов.

-путем проведения индивидуального прогнозирования изменения изменений определяющего параметра.

Индивидуальное прогнозирование состоит в экстраполировании отдельной реализации случайного процесса изменения определяющего параметра. При этом можно найти момент времени (наработки) до выхода значений параметра из границ рабочей области.

Индивидуальное прогнозирование процесса изменения определяющего параметра определяется с учетом того, что детерминированная (необратимая) составляющая реализации случайного процесса изменения определяющего параметра существенно больше обратимой составляющей. Иначе говоря, изменение определяющего параметра происходит плавно.

Для упрощения предсказания значений параметра желательно заранее иметь аналитическое выражение, описывающее тенденции изменения параметров. Иногда говорят: необходимо выбрать математическую модель изнашивания. Наиболее часто, например, могут использоваться зависимости [1]

$$y=at+b \quad (1)$$

$$y=at^b \quad (2)$$

$$y=a(1-e^{-t/b}) \quad (3)$$

$$y=ae^{-bt} \quad (4)$$

Во всех этих зависимостях процесс необратимого изменения определяющего параметра характеризуется параметрами **a** и **b**. Для практического применения очень удобна линейная зависимость (1) или зависимости, легко преобразуемые к линейному виду. Например (2), (4).

Чтобы оценить качество предсказания, можно использовать функцию потерь  $\varphi [y(t), y^*(t)]$  – неотрицательную функцию, значения которой определяется реализациями  $y(t)$  изменения параметра и его оценки  $y^*(t)$ , т.е. предсказанного значения. Математическое ожидание функции потери называют средним риском или функцией риска. В качестве критерия оптимальности обычно используют различные варианты критерия минимума среднего риска:

$$M [\varphi\{y(t), y^*(t)\}] = \min,$$

например, критерий минимума средней квадратичной ошибки

$$M [\varphi\{y(t) - y^*(t)\}^2] = \min$$

или минимума математического ожидания абсолютной величины разности  $y(t) - y^*(t)$ , т.е.

$$M [|y(t) - y^*(t)|] = \min$$

Можно использовать также критерии

$$P[|y(t) - y^*(t)| > \varepsilon_0] = \min$$

$$P[|y(t) - y^*(t)| < \varepsilon_0] = \min$$

где  $\varepsilon_0$  – заданное значение отклонения.

Ошибка предсказания будет зависеть от количества информации о предыстории процесса изменения параметра. Предсказание осуществляется по дискретным значениям контролируемых параметров в момент времени или наработки  $t_1, t_2, \dots, t_n$ . Минимальное число точек, необходимых для прогнозирования изменения параметра, равно числу постоянных в математической модели. Однако при этом точность прогнозирования изменения параметра получается низкой из-за случайных колебаний значений определяющего параметра. При увеличении числа точек, по которым вычисляются константы прогнозирующей модели, ошибка прогнозирования уменьшается.

В возможной ошибке прогнозирования можно условно выделить две составляющие:

- методическая ошибка из-за неточности прогнозирующей модели;
- флуктуационная ошибка за счет случайной компоненты процесса.

Методическая ошибка может зависеть также от характеристик случайной составляющей реализации процесса изменения рассматриваемого параметра.

Предсказанные значения определяющего параметра или времени (наработки) возникновения параметрического отказа являются случайными величинами при оценке достоверности прогнозирования можно ввести допущения о том, что случайная составляющая процесса изменения параметра являются нормально распределенным стационарным случайным процессом.

Для практической оценки достоверности прогнозирования необходим ряд дополнительных допущений, которые целесообразно формулировать для каждой отдельной задачи.

Постановка задачи о предсказании наработки до наступления параметрического отказа изделия существенно отличается от постановки задачи о предсказании значений определяющего параметра. При увеличении числа точек, по которым вычисляются константы прогнозирующей модели, ошибка прогнозирования уменьшается.

В таблице приведены математические модели прогнозирования параметрических отказов, блоков аварийной защиты системы энергосбережения пассажирских вагонов по результатам испытаний на надежность в режиме реального времени, с достоверной вероятностью 0,95.

Таблица

Тип блока	Параметр	Результат аппроксимации	Точность аппроксимации
2БА.058	x – время наработки, ч. y – напряжение «Вкл», В	$y = 0.0111x + 64.84$	0.131
		$y = 0.000058x^2 - 0.0044238x + 65.05$	0.267
		$y = -0.00000079x^3 + 0.0003995x^2 - 0.039151x + 65.29$	0.600
ESU-3/350	x – время наработки, ч. y – напряжение «Вкл», В	$y = 0.0501x + 147.64$	3.750
		$y = -0.0003375x^2 + 0.139199x + 146.44$	8.302
		$y = 0.00000253x^3 - 0.001425x^2 + 0.250014x + 143.67$	13.246
EAU-4/11	x – время наработки, ч. y – напряжение «Откл», В	$y = 0.02081x + 96.23$	0.731
		$y = 0.0000083x^2 + 0.01863x + 96.26$	0.734
		$y = -0.0000015x^3 + 0.000655x^2 - 0.04726x + 96.72$	1.551
EAU-4/11	x – время наработки, ч. y – напряжение «Вкл», В	$y = 0.0181x + 111.37$	2.963
		$y = -0.0001806x^2 + 0.06573x + 110.73$	4.545
		$y = 0.00000117x^3 - 0.0006837x^2 + 0.11702x + 110.37$	5.954

Результаты испытаний обрабатывались при помощи ЭВМ с использованием аппроксимирующих моделей в виде полиномов первого, второго и третьего порядка. В каждом случае подсчитывалась погрешность аппроксимации. Анализ таблицы показывает, что наиболее точно аппроксимируются изменения определяющего параметра испытываемых блоков является полиномом первого порядка, так как критерий «точности аппроксимации» минимален. Поэтому зная значения допустимых предметов изменения данных параметров, можно определить время наступления параметрического отказа и следовательно предупредить его наступление упреждением технического обслуживания блоков с целью восстановления их исправного состояния.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Перехрест В.С., Костенко В.Д. Прогнозирование состояния электрооборудования пассажирских вагонов: Журнал «Железнодорожный транспорт», №12.- М.: 1984 г. – 41-43 с.

**REFERENCES**

1. Perehrest V.S., Kostenko V.D. - M.: Zhurnal «Zheleznodorozhnyj transport», №12, 1984, pp. 41-43 (Prediction of the state of electrical passenger cars).

*PREDICTION OF PARAMETRIC FAILURES AND RANDOM FEATURE OF AGING TECHNICAL SYSTEMS.*

**PEREHREST V.S., KRIVONOS E.A., CHEBUKINA A.A.**

*"Kuban State Technological University" Novorossiysk Polytechnic Institute  
Karl Marx str., 20, Novorossiysk, 353900  
Tel.: (8617) 61-29-71; e-mail: [oid@nbkstu.org.ru](mailto:oid@nbkstu.org.ru)*

Translation of technical objects in the system of preventive maintenance , repair them on the " state" is one of the urgent tasks of the national economy . Aim of this study is to determine the type of predictive models change parameters defining the technical condition of automation devices passenger cars of domestic and foreign production. As a result, studies have found that changes in the basic defining parameters of these devices with high accuracy are approximated by polynomials of the first order . Investigations revealed the possibility of a confidence level of 0.95 to determine the transit time of the test devices in good working order , in defective . Which further allows you to operate an early warning technical failures of these devices.

Keywords: controlling parameter, test reliability, forecasting, simulation, processing test results.