

Прогнозирование остаточного ресурса машин и конструкций при проведении экспертизы

Голубев А. В.¹, Зеленков Н. Н.², Глазунов А. Е.³, Сахаров Т. М.⁴, Огарков А. Н.⁵

¹Голубев Александр Викторович / Golubev Aleksandr Viktorovich - технический директор, Общество с ограниченной ответственностью «ПТМ Северо-Запад»;

²Зеленков Николай Николаевич / Zelenkov Nikolay Nikolaevich - заместитель начальника отдела ЭПБ ГПМ и КП, эксперт;

³Глазунов Алексей Евгеньевич / Glazunov Aleksey Evgenievich – специалист отдела ЭПБ ГПМ и КП, инженер-механик,

⁴Сахаров Тарас Миронович / Sakharov Taras Mironovich - начальник лаборатории неразрушающего контроля;

⁵Огарков Анатолий Николаевич / Ogarkov Anatoliy Nikolaevich - инженер-дефектоскопист лаборатории неразрушающего контроля,

Общество с ограниченной ответственностью «Промышленная экспертиза», г. Череповец

Аннотация: рассматривается актуальный для проведения экспертизы вопрос прогнозирования остаточного ресурса машин и оборудования. Отмечено, что информация, получаемая при постоянном или периодическом измерении пластических (остаточных) деформаций и изучение закономерности ее поведения во времени или в зависимости от числа циклов нагружения и при известном предельном состоянии так же может служить источником прогнозирования остаточного ресурса. Вместе с тем в ряде отраслей, например, в металлургической, постоянных систематических наблюдений, измерений и испытаний не проводится. Предложена модель определения остаточного ресурса машин и конструкций на основе использования теории возможностей.

Ключевые слова: машины, конструкции, остаточный ресурс, теория возможностей.

УДК 66-6

По ГОСТ 13377–75 под ресурсом понимается наработка объекта от начала или возобновления эксплуатации до наступления предельного состояния. Нарботка может измеряться временем, числом циклов нагружения или другим неубывающим параметром. Во многих случаях в качестве такого параметра выбирается время. В качестве предельного состояния выбирается та или иная модель и, в частности, показатель безопасности эксплуатации объекта.

Основой прогнозирования остаточного ресурса является накопленная информация об объектах, получаемая в результате обследования, испытания, измерения и наблюдения за объектом во время его эксплуатации. Методология прогнозирования остаточного ресурса интенсивно изучалась и разрабатывалась в свое время академиком В. В. Болотиным на основе теории вероятностей и математической статистики [1]. С этой целью им использовались различные модели (кумулятивные, полудетермистические, марковские, Пуассоновские и другие). При наличии, например, трещин прогнозирование остаточного ресурса может осуществляться с использованием закономерностей ее подрастания до предельного (критического) значения с использованием механики разрушения.

Информация, получаемая при постоянном или периодическом измерении пластических (остаточных) деформаций и изучение закономерности ее поведения во времени или в зависимости от числа циклов нагружения и при известном предельном состоянии также может служить источником прогнозирования остаточного ресурса. Имеются и другие источники информации о текущих параметрах, напрямую или косвенно связанные с тем или другим предельным состоянием конструкции. Однако все методы и все наблюдаемые параметры требуют полной информации о поведении случайных процессов, знания их статистических законов распределения и статистических характеристик. В ряде отраслей, например, в металлургической, с которой нам приходится работать, постоянных, систематических наблюдений, измерений и испытаний не проводится. Оборудование эксплуатируется как правило в течение нормативного срока эксплуатации, за исключением случаев нарушения установленных норм эксплуатации, пожаров и других стихийных и отказовых ситуаций. После этого организуются обследования, испытания и ремонтные работы, если они необходимы. Иначе говоря, полная информация о тех или иных параметрах объекта отсутствует. Такая информация называется неполной или ограниченной и неопределенности такого вида анализируются методами теории нечетких множеств и теории возможностей [2]. На основе этих теорий предлагается рассматривать проблему прогнозирования остаточного ресурса тогда, когда в рамках поставленной задачи вероятностная модель оказывается трудно реализуемой, а возможностная модель обеспечивает удовлетворительные результаты.

В классической теории надежности время до отказа элементов системы или системы в целом рассматриваются как случайные величины с определенным законом распределения вероятностей. Однако время до отказа может носить возможностный характер и рассматриваться как нечеткие переменные с заданными мерами возможности $R(t)$ и необходимости $N(t)$ и связанными мерами вероятностей $P(t)$

условием связности $\forall t, N(t) \leq P(t) \leq R(t)$ [2]. Отсюда видно, что вероятностная мера находится внутри интервала $[N...R]$. Для определения N и R , как более «размытого» результата, требуется меньший объем информации или менее точная (размытая) информация (нечеткая), что чаще и встречается на практике. Если конструкция находится в рабочем состоянии (иначе нет смысла определять остаточный ресурс), то возможность безотказной работы R считается известной и равной единице. Необходимость безотказной работы N можно характеризовать убывающей функцией $N(t) = 1 - \pi_T(t)$,

$$\text{Например, } \pi_T(t) = \alpha + (t - X_{\min})(1 - \alpha)/(a - X_{\min}) \quad (1)$$

при $t < a$. При $t = a$ $N(a) = 0$ и $R = 1$. Такое состояние конструкции считается неопределенным, аналогично состоянию, характеризуемому вероятностной мерой $P = 0,5$. Значение интервала $[0...1]$ будем считать предельным для работоспособности конструкции. Функции $N(t)$ и $\pi_T(t)$ представлены на рисунке 1.

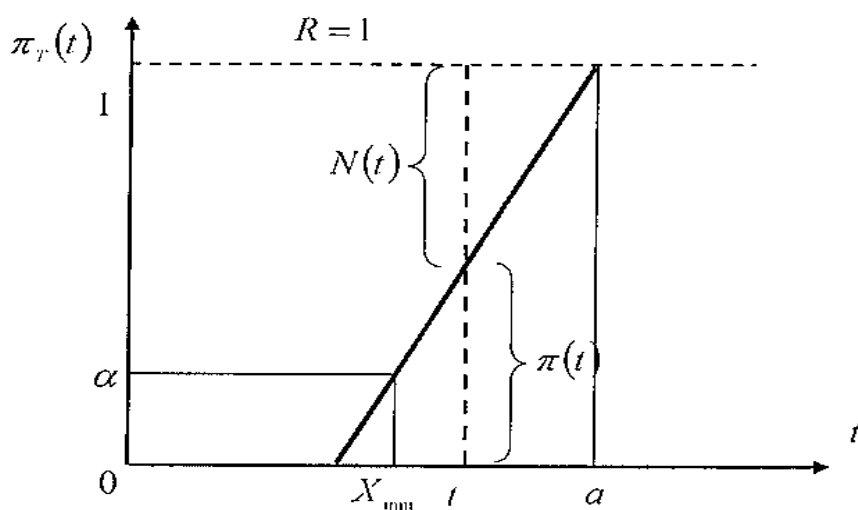


Рис. 1. ФРВоЗ $\pi_T(t)$ и необходимость безотказной работы $N(t)$

X_{\min} — время (срок службы), гарантированное поставщиком конструкции. α — уровень риска, которым задаются в зависимости от условия эксплуатации, монтажных ошибок и т. д. в начальном периоде эксплуатации.

Так как интервал $[N, R]$ характеризует надежность эксплуатируемой конструкции (степень безотказности функционирования), то при $R = 1$ значением N задаются в зависимости от значимости конструктивного элемента от экономических последствий при его отказе, по условию жизнеобеспечения и т. д., а возможно, он задан нормативными документами в виде вероятностной меры безопасности. В результате обследования или испытания в некоторый момент времени t_3 эксплуатации конструкции находят значение возможности отказа $\pi(t_3)$ по анализу того или иного параметра, связанного с предельным состоянием конструкции. Тогда из (1) находят значение параметра распределения

$$a = X_{\min} + (t_3 - X_{\min}) / (1 - \alpha) [\pi(t_3) - \alpha].$$

Зная значение «а», можно найти время t , соответствующее определенному значению $N(t)$.

$$\text{Из (1)} \quad t = X_{\min} + (\pi(t) - \alpha)(a - X_{\min}) / (1 - \alpha).$$

Отсюда удается определить время (ресурс) t конструкции, если предельным значением $\pi_{np}(t)$ задаться по условию безопасности. Например, для $N = 0,998$ и, соответственно, для интервала

надежности $[1; 0,998]$ $\pi_{np}(t) = 1 - N = 0,002$. Этому значению $\pi_{np}(t) = 0,002$ будет соответствовать предельное время эксплуатации t_{np}

$$t_{np} = X_{\min} + (\pi_{np}(t) - \alpha)(a - X_{\min}) / (1 - \alpha).$$

Остаточный ресурс конструктивного элемента или конструкции в целом находится по формуле

$$t_{ост} = t_{np} - t_{\ominus},$$

где t_{\ominus} — время эксплуатации элемента.

Если остаточный ресурс конструкции (системы) зависит от остаточного ресурса нескольких элементов, то его определение зависит от структуры системы и способов соединения элементов в понятиях теории надежности, которое бывает последовательным, параллельным и смешанным.

Для смешанных систем приходится разбивать систему на блоки с последовательным и параллельным соединениями. Напомним, что соединение считается последовательным в том случае, если отказ одного элемента приводит к отказу всей системы. При параллельном соединении отказ наступит после отказа последнего элемента системы.

Литература

1. *Болотин В. В.* Прогнозирование ресурса машин и конструкций. [Текст]: — М.: Машиностроение, 1984, 312 с.
2. *Дюбуа Д., Прад А.* Теория возможностей. [Текст]: Приложения к представлению знаний в информатике: Пер. с фр. — М.: радио и связь, 1990, 288 с.