

Аль-Аммори Али, д.т.н., проф.; Хафед И. С. Абдулсалам; Клочан А. Е.;
Верховецкая И. Н.

ВЕРОЯТНОСТНО-ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

В работе рассмотрена модель исследования эффективности работы зубчатых передач. Исследование процессов износа в транспортных машинах является актуальной проблемой которая требует разносторонних подходов. Поскольку процессы износа, старения, деградации в зубчатых передачах являются монотонными, поэтому целесообразно изучать эти вопросы с помощью вероятностно-физической модели, основанной на использовании законов распределения отказов, которые следуют из анализа физических процессов деградации, приводящие к отказу.

Рост производительности и эффективности машин, увеличение скоростей движения транспорта, повышение нагрузок вследствие вибраций и ударов, необходимость обеспечения надежной работы оборудования и безопасных условий эксплуатации, приводит к исследованию необходимости повышения эффективности работы зубчатых передач. Эффективность напрямую связана с надежностью. Основы надежности закладывает конструктор при проектировании изделия. Определение показателей надежности в процессе использования выполняют методами теории вероятностей.

Для исследования вопросов механических отказов типа (износ, поломка, выкрышивание, зубчатые передачи) можно применить вероятностно-физические методы исследования надежности, а именно диффузионно-монотонное DM (Diffusive Monotonic) - распределение. Оно описывает системы, содержащие электромеханические и механические элементы [1, 2]. Механические процессы деградации аппроксимируются марковским случайным процессом с монотонными реализациями. DM – распределение имеет:

- функцию распределения $F(t, \mu, \nu) = \Phi\left(\frac{t - \mu}{\nu\sqrt{\mu t}}\right)$

где μ - параметр масштаба, значение которой равно обратной величине средней скорости процесса деградации $\mu = \frac{1}{a}$.

ν - параметр формы, представляющий собой коэффициент вариации процесса деградации (скорости деградации).

$\Phi(Z)$ - нормированное нормальное распределение.

- плотность распределения $f(t, \mu, \nu) = \frac{t + \mu}{\nu\sqrt{2\pi\mu t}} \exp\left[-\frac{(\mu - t)^2}{2\nu^2 \mu t}\right]$

Основные числовые характеристики DM - распределения:

- математическое ожидание $M(T) = \mu\left(1 + \frac{\nu^2}{2}\right)$;

- дисперсия $D(T) = (\mu\nu)^2\left(1 + \frac{5\nu^2}{4}\right)$;

- коэффициент вариации $K_\nu[T] = \nu\frac{\sqrt{4 + 5\nu^2}}{(2 + \nu^2)}$;

- вероятность безотказной работы на момент $t = \tau$, $p(t) = \Phi\left(\frac{\mu - t}{v\sqrt{\mu t}}\right)$;
- интенсивность отказов $\lambda(t) = \left\{ t + \mu \exp\left[\frac{-(\mu - t)^2}{2v^2\mu t}\right] \right\} / v\sqrt{2\pi\mu t} \Phi\left(\frac{t - \mu}{v\sqrt{\mu t}}\right)$.
- средний остаточный ресурс (Т), как соответствующее математическое ожидание при известной функции плотности распределения вероятности начальной наработки в виде

$$T = \frac{1}{\Phi\left(\frac{t - \mu}{v\sqrt{\mu t}}\right)} \left\{ \left[\mu + \left(\frac{1+v^2}{2}\right) - \tau \right] \Phi\left(\frac{\mu - \tau}{v\sqrt{\mu t}}\right) + \frac{\mu v^2}{2} e^{\frac{2}{v^2}} \Phi\left(\frac{\mu - \tau}{v\sqrt{\mu t}}\right) + \frac{v\sqrt{\mu v}}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(\frac{-(\tau - \mu)^2}{2\mu\tau}\right) \right\}$$

Таким образом, применение в качестве теоретической модели DM-распределения позволяет прогнозировать ожидаемую остаточную наработку (ресурс, срок службы) для любого момента времени как на стадии проектирования, когда используется та же информация, которая и для прогнозирования начальной наработки (ресурса, срока службы), так и на стадии эксплуатации, когда есть возможность уточнения начальных оценок характеристик надежности путем использования дополнительной информации при контроле технического состояния системы.

В теории надежности механических систем все большее распространение получают вероятностно-физические модели надежности [2], основанные на использовании законов распределения отказов, вытекающих из анализа физических процессов деградации приводящих к отказу. При этом физические процессы деградации рассматриваются в виде случайных процессов. Этот подход к исследованию надежности получил название вероятностно-физический, поскольку он связывает значение вероятности отказа и физического параметра, вызывающего отказ. Вследствие этого параметры получаемого вероятностного распределения отказов имеют определенный физический смысл.

Список литературных источников

1. Аль-Аммори Али. Элементы теории надёжности комп'ютеризованих систем / Навч. посібник з розв'язанням задач у Mathcad – К.: НТУ, 2016. – 240 с.
2. Strelnikov V. The Status and Prospects of Reliability Technology – Part 1 // RAC Jornal. – 2001. – N 1. – P. 1–4.

Аль-Аммори Али – д.т.н., профессор, Национальный транспортный университет, г. Киев, e-mail: ammourilion@ukr.net

Хафед И. С. Абдулсалам – аспирант, Национальный транспортный университет, г. Киев, e-mail: hdwas78@gmail.com

Клочан Арсен Евгеньевич – аспирант, Национальный транспортный университет, г. Киев, e-mail: VArsenchuk@gmail.com

Верховецкая Инна Николаевна – аспирантка, Национальный транспортный университет, г. Киев, e-mail: lonelyspace@bigmir.net