

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ И ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ

Белорусский Национальный технический университет

Минск, Беларусь

По мере наработки передач меняются многие их параметры – КПД, кинематическая погрешность, виброакустические параметры. Это явление связано, в основном, с изменениями геометрии зацепления. В то же время изменения этих параметров носят, как правило, нелинейный характер и не всегда позволяют сделать заключение о возможном или наиболее вероятном состоянии механизма, а также определить величину остаточного ресурса механизма.

Результаты экспериментальных исследований [1] позволяют сделать вывод о том, что величина КПД является достаточно чувствительным параметром, зависящим от состояния передач, и может быть использована для их диагностики. Учитывая наличие корреляционной связи между КПД передачи на разных уровнях нагружения с её состоянием, для целей диагностики передачи по КПД можно рекомендовать метрические методы распознавания в n -мерном пространстве признаков.

В проводимых исследованиях использовалось упрощенное представление классов состояний объектов диагностики (передач):

-*исправное состояние* S_i , характеризующееся соответствием передачи паспортным данным, техническим требованиям и другим нормативным документам;

-*предельное (критическое) состояние* S_k , предшествующее состоянию неисправности и характеризующееся заранее определенным запасом работоспособности передачи до ее выхода из строя. При достижении этого состояния требуется периодический или капитальный ремонт передачи. В наиболее ответственных случаях может быть установлено несколько уровней критического состояния;

-*неисправное состояние* S_n , которое характеризуется или выходом передачи из строя, или состоянием, непосредственно ему предшествующим.

Для постановки диагноза использовался ассоциативный (неклассический) метод. При этом выбирались типичные представители каждого класса состояний (эталонные редуторы) в предположении, что им свойственны все основные признаки состояний. Сигнал диагностического параметра такого эталона принимали в качестве типового сигнала, соответствующего данному состоянию.

При этом объект относился к тому состоянию, для которого был максимальным коэффициент корреляции между сигналом объекта и типовым сигналом для данного состояния. Этот коэффициент имеет смысл косинуса угла между векторами сигнала объекта и типового сигнала для данного состояния (эталона) в n -мерном пространстве признаков:

$$r = \cos \varphi(X, X_0) = \frac{\sum_{i=1}^n X_i X_{0i}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n X_i^2 \sum_{i=1}^n X_{0i}^2}}, \quad (1)$$

где X_i – значение признаков для исследуемого объекта, X_{0i} – значение признаков для типового представителя данного состояния (эталона).

Общая процедура метрического диагноза проводилась по следующей методике, реализованной на ЭВМ, в предположении, что диагностические параметры имеют нормальное распределение:

- определялись эталоны состояний, характеризующиеся набором $j=1 \dots V$ значений параметров α_{ij} ;
- определялись относительные расстояния L_i до i -го эталона:

$$L_i = \sum_{j=1}^k \left(\frac{X_j - \alpha_{ij}}{S_j} \right)^2, \quad (2)$$

где k – число диагностических параметров, по которым ведется диагностирование; X_j – измеренное среднее значение j -го параметра; α_{ij} – установленное эталонное значение j -го параметра для i -го состояния; S_j – среднее квадратическое отклонение j -го параметра;

- ранжировались значения L_i в порядке их возрастания:

$$L_1 > L_2 > L_3 \dots > L_{k-1} > L_k;$$

- сравнивались между собой два последних значения на предмет выполнения условия:

$$L_{k-1} - L_k > \varepsilon,$$

$$\varepsilon \geq \sqrt{\sum_{j=1}^k \left(\frac{S_j}{X_j} \right)^2}.$$

Если данное условие выполнялось, то объект относился к k -му диагнозу, если же нет, то объект относился как к состоянию k , так и к состоянию $k-1$ (диагноз неоднозначен);

- надежность распознавания k -го состояния при этом определялась величиной, аналогичной вероятности диагноза:

$$P_k = \frac{1/L_k}{\sum_{j=1}^k \left(\frac{1}{L_j} \right)}. \quad (3)$$

Сущность метода иллюстрируется рис. 1.

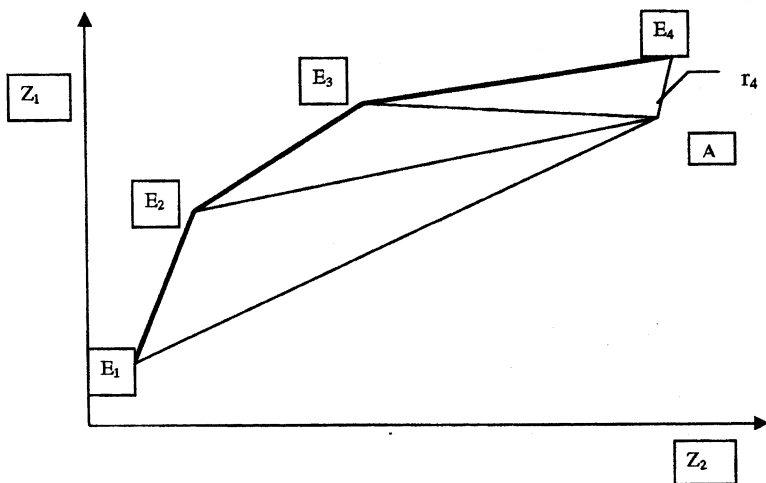


Рис.1 Иллюстрация метрического метода распознавания

По результатам наблюдений рассчитываются значения эталонов состояний E_i (на рисунке показаны двухмерные эталоны, зависящие от двух диагностических признаков Z_1 и Z_2). При этом значения расстояний координат X_1 и X_2 нормированы к величинам Z_1 и Z_2 , т.е. вычисляются по формуле, позволяющей привести к общему масштабу диапазоны изменения факторов X_1 и X_2 :

$$Z_i = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (4)$$

Прогнозирование достижения механизмом состояния, например, E_4 , осуществляется на основе процедуры линейной экстраполяции результатов предыдущих наблюдений согласно формуле

$$t_4 = t_3 + \frac{r_4}{r_3}(t^0 - t_3), \quad (5)$$

где t_4 – прогнозируемый момент достижения механизмом состояния E_4 ; t_3 – момент достижения механизмом состояния E_3 ; t^0 – текущий момент времени; r_3 и r_4 – текущее расстояние от наблюдаемого состояния объекта до эталонов состояний E_3 и E_4 :

$$r_i = |E_i - A| \quad (6)$$

В ряде случаев диагностику состояния можно проводить не по дискретному набору состояний, а наблюдать изменение признака во времени в n -мерном пространстве. Это связано с тем, что при малом числе состояний объекта диагноза, границы класса состояний, как правило, размыты. В этой связи типовой сигнал может быть ошибочно отнесен к иному состоянию. Поэтому для повышения надежности диагноза использовалась модель детерминированного изменения диагностического сигнала во времени. Детерминированная составляющая сигнала (тренд) выделялась и анализировалась. При этом для описания тренда использовались либо линейные, либо квадратичные зависимости. Прогнозирование состояний механизмов осуществляется аналогичным образом, но с использованием для экстраполяции нелинейных методов (параболической интерполяции по формулам Ньютона, Бесселя и Стирлинга).

Описанная методика была реализована применительно к планетарным передачам. При этом прогнозирование остаточного ресурса велось по эталонным величинам КПД передачи η_k^0 при различных уровнях наработки, соответствующих состояниям 25, 50, 75 и 100 % предельного износа.

При этом передача относилась к тому состоянию k , которое обладает наибольшей вероятностью диагноза p_k :

$$p_k = \frac{1/L_k}{\sum_{i=1}^n (1/L_i)} = \frac{1}{(\eta - \eta_k^0) \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{\eta - \eta_i^0} \right)}, \quad (7)$$

где $L_i = \eta - \eta_i^0$ – расстояние в метрическом пространстве признаков от измеренного значения КПД η до i -го эталонного значения.

Учитывая то, что значения p_k могут быть получены на каждом из m уровней нагружения передачи, наиболее точной оценкой вероятностей диагнозов p_k будет среднее для m уровней, т.е.

$$\bar{p}_k = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m p_{ki}. \quad (8)$$

На основе наблюдений за изменением КПД передачи в процессе наработки, прогнозировался как момент достижения ей предельного износа, так и величина остаточного ресурса и момент проведения ее ремонта. Точность прогноза при этом в зна-

чительной мере зависит от дисперсии диагностического признака и для линейного прогнозирования по КПД может составлять 5...25%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пашкевич В.М. КПД планетарных роликовых редукторов типа РПРЗ-43. // Весті АН Беларусі. Сер. фіз – тэхн. Навук.- 1996. - N1.