

Секция «КОНСТРУИРОВАНИЕ, ИСПЫТАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВО  
АВТОМОБИЛЕЙ»

рению рисков и возможностей вносить не только риски, оказывающие негативное воздействие на процессы организации, но и возможности к принятию новых практик, запуску новой продукции, выходу на новые рынки, обращению новых потребителей, использованию новой технологии и другим желательным и стимулирующими возможностями, рассматривающим потребности организации.

ЛИТЕРАТУРА

1. СТБ ISO 9001-2015. Системы менеджмента качества. Требования. Мн.: БелГИСС, 2015. – 36с.

Представлено 15.05.2019

УДК 629.33-025.13(06)

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ  
ТРАНСМИССИИ С УЧЕТОМ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ  
ЭЛЕМЕНТАМИ ЕЕ УЗЛОВ  
PROBABILISTIC RELIABILITY CALCULATION  
OF MECHANICAL TRANSMISSION WITH CONNECTIONS  
BETWEEN ELEMENTS HER UNITS

Г.А. Дыко, канд. техн. наук, доц.

Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

H. Dyko, Ph.D. in Engineering, Associate professor,  
Belarusian national technical University, Minsk, Republic of Belarus

*Аннотация.* Проблема вероятностной оценки надежности механической трансмиссии при проектировании является комплексной и требует решения нескольких задач. Первая задача состоит в прогнозировании нагруженности трансмиссии и ее деталей с помощью статистических компьютерных моделей, позволяющих при корректной исходной информации адекватно оценить нагрузки с учетом случайных влияющих факторов. Вторая и третья задачи заключаются в расчетной оценке показателей надежности деталей

Секция «КОНСТРУИРОВАНИЕ, ИСПЫТАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВО  
АВТОМОБИЛЕЙ»

по различным предельным состояниям и трансмиссии в целом как сложной системы.

*Abstract.* The problem of probabilistic evaluation of the reliability of the mechanical transmission in the design is complex and requires the solution of several problems. The first task is to predict the load of the transmission and its parts with the help of statistical computer models that allow for the correct initial information to adequately assess the load taking into account random influencing factors. The second and third tasks are to estimate the reliability indicators of parts for various limiting States and the transmission as a whole as a complex system.

*Ключевые слова:* надежность, трансмиссия, прогнозирование.

*Keywords:* reliability, transmission, forecasting.

## ВВЕДЕНИЕ

Механическая трансмиссия автомобиля в большинстве случаев представляет собой последовательную систему элементов с точки зрения теории надежности. Наличие параллельных ветвей в отдельных конструкциях не означает резервирования, так как отказ одной ветви означает отказ всей трансмиссии. Исключение составляют, например, трансмиссии многоприводных автомобилей, у которых отказ одного ведущего моста может не приводить к отказу трансмиссии в целом. Для последовательной системы независимых друг от друга элементов ее функция надежности получается перемножением функций надежности элементов.

Так как детали функционируют в одной системе, их наработки до отказа и ресурсы являются вероятностно зависимыми между собой.

## ОБЩИЙ ПОДХОД К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ НАДЕЖНОСТИ

Система может состоять из определенного количества ( $n$ ) элементов. Каждый элемент характеризуется параметром качества  $R_i$  (несущая способность для деталей трансмиссии), где  $i = 1, \dots, n$ . Конкретный параметр качества (предел выносливости, предел прочности и др.) является случайной величиной с плотностью распределения  $f(R_i)$ . Качество системы описывается случайным вектором  $R$  с плотностью  $f_R(R) \equiv f_R(R_1, R_2, \dots, R_n)$ . Нагружение системы можно представить случайной вектор-функцией  $q(t|S)$ , в которой  $t$  – время

(наработка),  $S$  – случайный вектор описания факторов и условий нагружения. Для трансмиссии в качестве факторов могут быть крутящий момент и скорость вращения. В [4] дана формула для оценки функции надежности системы

$$F_t(t) = \iint_{D(R,S)} F_t(t | R, S) f(R, S) dR dS,$$

где  $F_t(t | R, S)$  - условная функция надежности системы,  $f(R, S)$  – совместная плотность распределения векторов  $R$  и  $S$ .

Между элементами трансмиссии существуют связи трех видов: по нагруженности, по параметрам качества (по несущей способности) и по состоянию. Первая связь – глобальная для системы, вторая связь – локальная (между элементами одной детали). Учет связи по нагруженности ведет к более высокому расчетному ресурсу. Предположение об отсутствии связи по несущей способности между элементами детали увеличивает погрешность в оценке ее надежности [2].

#### УЧЕТ СВЯЗИ ПО СОСТОЯНИЮ

Связь по состоянию означает, что состояние одного элемента влияет на состояние другого. Она возможна между кумулятивным и выбросовым или кумулятивными элементами одной детали или в пределах узла. Кумулятивный элемент выступает в качестве влияющего на другие элементы. Параметр состояния  $j$ -го элемента при односторонней связи с состояниями  $k$  других элементов имеет вид

$$Q_j(t) = \int_0^t \varphi_j [q_j(t | s_j) Q_1(t), \dots, Q_k(t)] dt,$$

где  $q_j(t | S_j)$  – функция, описывающая нагружение  $j$ -го элемента.

Из-за различного характера связей по состоянию сложно дать общие рекомендации по их учету. Для трансмиссии характерна односторонняя связь между накоплением усталостных повреждений зубьями зубчатого колеса и износом подшипников качения в одной системе «колесо–вал–подшипники». Износ подшипников  $\Delta$  ведет к

Секция «КОНСТРУИРОВАНИЕ, ИСПЫТАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВО  
АВТОМОБИЛЕЙ»

перекоосу колес и росту контактных напряжений на зубьях. Зная, как растет износ с наработкой, можно установить характер изменения средней единичной циклонапряженности  $r$ , используя кусочно-линейную интерполяцию функции  $r = f(t)$ . Предельная циклонапряженность  $R$  разбивается на  $n$  интервалов шириной  $\Delta R$ . На каждом из них величина  $r_i$  постоянна и определяется с учетом связи. Ресурс элемента

$$T_i = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta R}{r_i}$$

Для конкретного узла трансмиссии на базе полученных функций  $\Delta=f(t)$  и  $\sigma_H=f(t)$  ( $\sigma_H$  – среднее контактное напряжение) выполнен расчет функции надежности колеса с учетом связи (кривая 2) и без ее учета (кривая 1) для сравнения (рисунок 1).

При этом принималась известная линейная зависимость между зазорами в подшипниках и износом зубьев. Учет связи по состоянию в данном случае привел к уменьшению среднего ресурса колеса на 10% по сравнению с расчетом без связи.

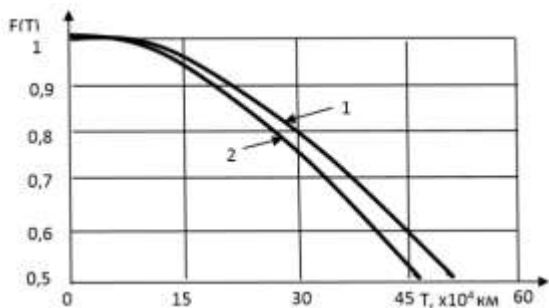


Рисунок 1 – Функция надежности колеса

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрен уточненный комплексный подход к вероятностной оценке показателей надежности механической трансмиссии автомобилей, учитывающий связь по состоянию между элементами ее узлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Снесарев, Г.А. Расчет редукторов на надежность/ Г.А. Снесарев. – М.: Вестник машиностроения, 1982, № 4–8.
2. Прогнозирование надежности механического привода с учетом связей его элементов/ В.Н. Ксендзов [и др.]. – Минск: ИНДМаш АН БССР, 1987. – 69 с.
3. Ксендзов, В.Н. Учет связи по состоянию при вероятностной оценке ресурса деталей приводов машин/ В.Н. Ксендзов, Г.А. Дыко. – Минск: Весці АН Беларусі, серія фіз.-техн. наук, 1993, № 1, с. 11–15.
4. Болотин, В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. – М.: Машиностроение, 1984. – 312 с.

Представлено 17.05.2019

УДК 62-50

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ  
ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ  
MATHEMATICAL MODELING MOVEMENT OF THE TRUCK

Ж.Г. Шодиев, асс., Б.А. Алибоев, канд. техн. наук, ст. преп.,  
Ташкентский государственный технический университет,  
г. Ташкент, Узбекистан  
J. Shodiev, Assistant,  
B. Aliboev, Ph.D. in Engineering, Senior Lecturer,  
Tashkent State technical university, Tashkent, Uzbekistan

*Аннотация.* В статье разработаны математические модели движения малогабаритного грузового автомобиля *Labo* на основе полученных уравнений движения. Определены значения вертикальных и горизонтальных колебаний автомобиля в процессе движения по неровностям. По заданным массам определены параметры рессоры и решена модель движения автомобиля с применением численного метода Рунге-Кутты.