

УДК 629.3

Торлин В.Н., д.т.н., Долгин В.П., к.т.н., Мешков В.В., Чуйко И.Ю., аспирант  
СевНТУ, г. Севастополь

## ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТРАНСМИССИИ АВТОМОБИЛЯ КАК ДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

*Рассматривается методика построения диагностической модели трансмиссии автомобиля на базе теории автоматического управления системами с распределенными параметрами.*

### Постановка проблемы

Современные автотранспортные средства (АТС), рассчитанные на 1 млн. км пробега, в реальных дорожных условиях реализуют около 80% паспортного ресурса, что при высокой их стоимости ведет к снижению экономической эффективности их эксплуатации, как показали публикации [1, 2]. Этот показатель может быть значительно повышен разработкой комплекса технических средств диагностирования АТС и нового программного обеспечения, позволяющих достичь требуемого уровня идентификации их состояния и прогнозирования ресурса.

### Цель статьи и постановка задач исследования

Целью исследования является определение влияния разработанного комплекса динамических параметров трансмиссии АТС на глубину диагностирования и точность прогноза ее ресурса.

Отличительной особенностью предлагаемой усовершенствованной методики является то, что ее основу составляет хорошо алгоритмизируемый аппарат теории автоматического управления [3]. Предлагается трансмиссию АТС представить последовательностью динамических звеньев, среди которых имеются звенья, описываемые дифференциальными уравнениями в частных производных, т.е. основной диагностической моделью является система с распределенными параметрами [3]. Основные параметры динамической характеристики такой системы является диагностическими критериями.

### Основной раздел

Представим последовательность механизмов, передающих крутящий момент от двигателя к ведущим колесам АТС в виде структурной схемы (рис. 1), в состав которой входят  $n$  динамических звеньев, среди которых одно звено — карданный вал, ввиду своей протяженности, представлен распределенным объектом.

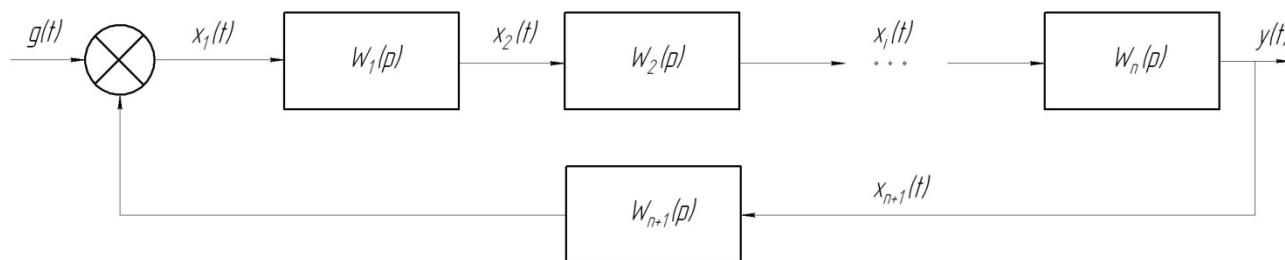


Рис. 1. Структурная схема диагностической модели

Динамическое поведение его описывается векторным уравнением

$$(\lambda + 2G)\text{graddiv}\bar{u} - \text{Grotrot}\bar{u} = \rho \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial t^2}, \quad (1)$$

где  $\lambda, G$  — параметры Ляме;  $\rho$  — плотность материала;  $t$  — время, функция  $\bar{u}$  для тел вращения зависит от цилиндрических координат  $r, z, t$  времени  $\bar{U} = f(r, z, t)$ .

Интегрирование уравнения (1) для вала длиной  $l$  дает

$$u(r, z, t) = A_n r \exp \left[ i\omega \left( \sqrt{\frac{\rho}{G}} l - z \right) \right], \quad (2)$$

где  $\omega$  — частота вращения вала.

Волну кручения (2) в соответствии с [3] представим в виде звена следующей конфигурации

$$W_i(r, p) = \frac{k_i p}{1 + T_i p} \Phi(r, p) e^{-\tau p}, \quad (3)$$

где  $p$  — параметр преобразования Лапласа;  $\tau$  — время запаздывания;  $k_i$  — коэффициент передачи звена;  $T_i$  — постоянная времени.

Остальные звенья цепи (рис. 1) представлены колебательным звеном с передаточной функцией

$$W_n(p) = \frac{k_n}{1 + 2\zeta T_n p + T_n p^2}, \quad (4)$$

где  $\zeta$  — параметр затухания;  $k_n, T_n$  — соответственно коэффициент передачи и постоянная времени.

Звено цепи обратной связи  $W_{n+1}(p)$ , представляющее собой вычислительное устройство, предназначенное для идентификации выходной величины  $y(t)$ , представлено безинерционным звеном с передаточной функцией

$$W_{n+1}(p) = k_{n+1}. \quad (5)$$

Для моделирования динамических процессов в цепи (рис. 1) запишем ее суммарную передаточную функцию в замкнутом виде

$$W(r, p) = \frac{\prod_{n=1}^N W_n(p)}{1 + \prod_{n=1}^N W_n(p)}. \quad (6)$$

С помощью передаточной функции (6) строится частотная передаточная функция

$$W(r, j\omega) = \int_0^{\infty} W(r, t) e^{-j\omega t} dt, \quad (7)$$

которая позволяет построить амплитудно-фазовую частотную характеристику (АФЧХ). Для этого необходимо частотную передаточную функцию представить в виде суммы вещественной и мнимой частот

$$W(r, j\omega) = U(\omega) + jV(\omega), \quad (8)$$

при этом распределенный параметр  $r$  меняется дискретно с шагом  $\Delta r = 0.1$  мм. АФЧХ строится в координатах  $U(\omega)$  и  $V(\omega)$ , при этом определяются два дополнительных диагностических параметра:

- модуль частотной передаточной функции

$$\text{mod } W(r, j\omega) = \frac{A_{\text{вых}}}{A_{\text{вх}}}, \quad (9)$$

где  $A_{\text{вых}}$  и  $A_{\text{вх}}$  — амплитуды выходной  $y(t)$  и входной  $g(t)$  величин;

- аргумент частотной передаточной функции

$$\text{arg } W(r, j\omega) = \psi, \quad (10)$$

где  $\psi$  — сдвиг фаз входной и выходной величин.

Значительная часть диагностической информации получается с помощью переходной характеристики системы, которая определяется обратным преобразованием Лапласа функции (6)

$$h(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_{-\infty}^{\infty} W(r, p) e^{pt} dp. \quad (11)$$

Таким образом, предлагаемая методика позволяет определить два массива данных о диагностируемом объекте: массив АФЧХ и массив  $h(t)$ , а также модуль и аргумент передаточной функции. С помощью компьютерного моделирования покажем преимущества разработанной методики.

### **Компьютерная реализация методики**

Разработанная диагностическая модель (1) – (11) была реализована в среде MATLAB. На основании ее был разработан комплекс программ позволяющих по результатам измерений констант модели (1) – (11) вычислять для системы в целом и для каждого в отдельности комплект диагностических параметров. В качестве примера было проведено компьютерное моделирование трансмиссии легкового автомобиля с колесной формулой 4×2, 5-ти ступенчатой коробкой перемены передач. Трансмиссия была представлена 8-ю звеньями, из них 7 звеньев моделировались функцией (4) и одно звено функцией (3). Для трансмиссии автомобиля модели ВАЗ 2107 критерий (6) был получен в виде

$$\begin{aligned} W := & .0002162231050 p / ((1 + .6043056139 p + .8129204579 p^2) \\ & (1 + .7455800374 p + .4537470195 p^2) (1 + .2598119527 p + .6440313953 p^2) \\ & (1 + .3100754872 p + .9206249473 p^2) (1 + .7971794905 p) \\ & (1 + .03916959416 p + .1464863072 p^2) (1 + .08843057167 p + .1555907635 p^2) \\ & (1 + .9604988341 p + .4293926737 p^2) (1 + .4324462100 10^{-7} p / ( \\ & (1 + .6043056139 p + .8129204579 p^2) (1 + .7455800374 p + .4537470195 p^2) \\ & (1 + .2598119527 p + .6440313953 p^2) (1 + .3100754872 p + .9206249473 p^2) \\ & (1 + .7971794905 p) (1 + .03916959416 p + .1464863072 p^2) \\ & (1 + .08843057167 p + .1555907635 p^2) (1 + .9604988341 p + .4293926737 p^2))))). \end{aligned} \quad (12)$$

С помощью (12) была построена АФЧХ для модели с 8-ю звеньями (рис. 2), ЛАЧХ (рис. 3) и переходная характеристика (рис. 4).

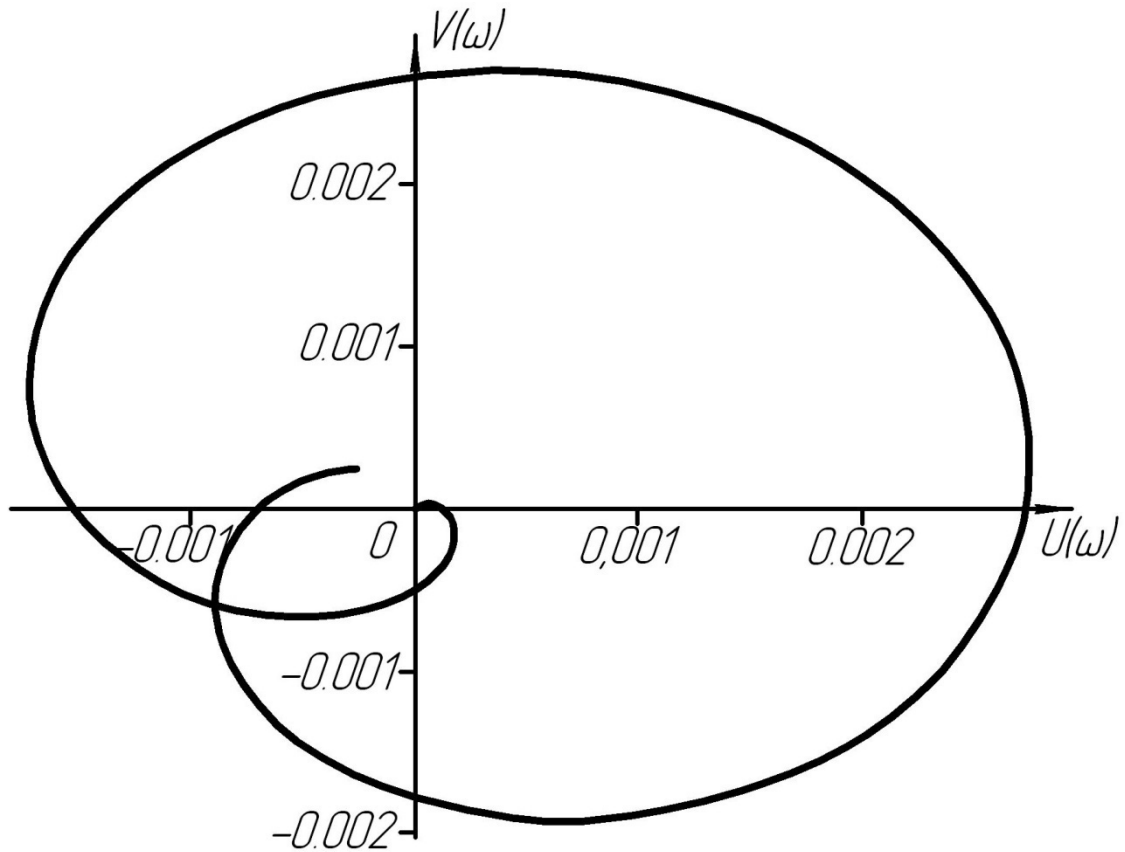


Рис. 2. АФЧХ трансмісії автомобіля ВАЗ 2107

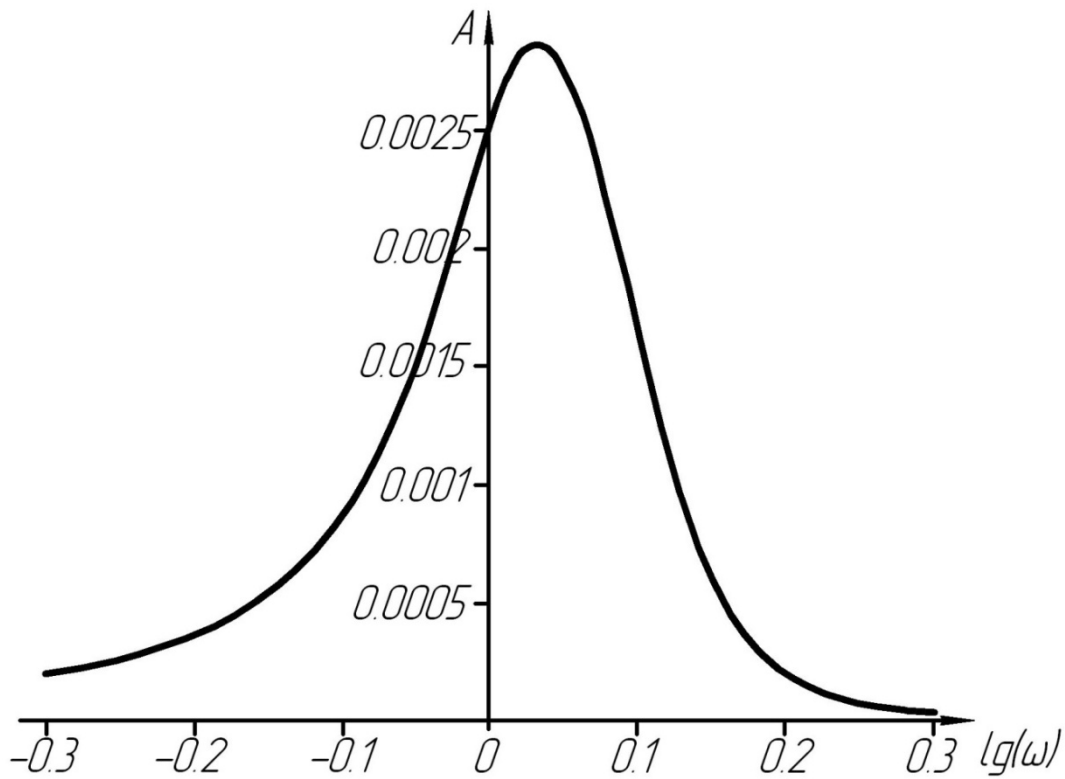


Рис. 3. ЛАЧХ трансмісії автомобіля ВАЗ 2107

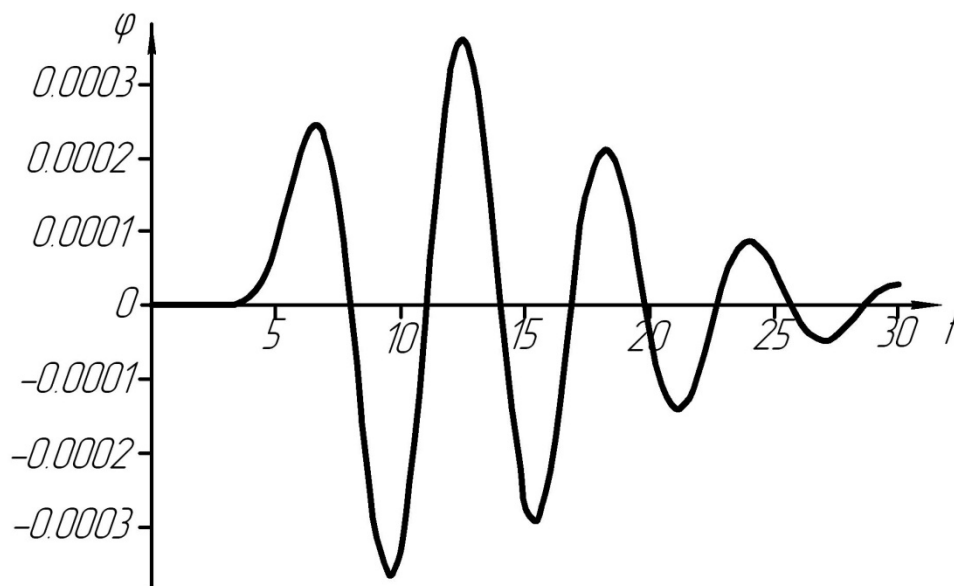


Рис. 4. Переходная характеристика системы

Эти характеристики трансмиссии являются диагностическими критериями, так как при измерении параметров входящих в них величин можно с высокой точностью определить характер и величины изменений основных диагностических параметров всех элементов трансмиссии и конструкции в целом.

#### ***Направление дальнейших исследований***

В дальнейшем следует провести экспериментальные исследования с целью определения динамических характеристик трансмиссии, полученных теоретически и сравнить результаты теоретических и экспериментальных исследований. Подобные модели с помощью разработанной методики могут быть построены для диагностирования рулевого управления АТС, тормозной системы и других систем и агрегатов автомобиля.

#### ***Выводы***

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Применение методов теории автоматического управления в задачах диагностирования АТС позволяет расширить число диагностических параметров и тем самым обеспечить достаточную глубину диагностики.

2. Разработанное программное обеспечение позволяет создать достоверную картину состояния трансмиссии АТС и следить за его изменением во времени.

#### ***Список литературы***

1. Варфоломеев В.Н., Потаман Д.С. Построение информационной системы при компьютеризации диагностирования автомобилей // Автомобильный транспорт: проблемы и перспективы. — Севастополь: СевНТУ, 2002. — С. 64–69.
2. Мигаль В.Д., Бажинов А.В., Олискевич М.С. Модели оценки технического состояния и управления ресурсом и надежностью машин // Автомобильный транспорт. — Харьков: ХНАДУ, 2003. — Вып. 13. — С. 30–35.
3. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. Изд. 4-е перераб. и доп. — СПб.: Профессия, 2003. — 752 с.

Стаття надійшла до редакції 15.11.07

© Торлін В.М., Долгін В.П., Мешков В.В., Чуйко І.Ю., 2007