

УТОЧНЕННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНЕРЦИОННОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ

Белецкий А.В., Баженов С.П.

Липецкий государственный технический университет

Липецк, Россия

Расчетная динамическая модель рабочего процесса инерционной автоматической передачи (ИАП) включает в себя, помимо крутильных масс трансмиссии, эквивалентную колебательную схему ведущего моста и колес, участвующую в формировании возмущающего момента.

Уточненная математическая модель рабочего процесса ИАП строится на основе уравнений инерционного автоматического трансформатора вращающего момента [1], в которых постоянное значение приведенного момента сил сопротивления  $M_c$  заменяется найденным с учетом процесса формирования возмущающего момента в трансмиссии колесной машины от воздействия микропрофиля опорного основания [2]. Условия перехода между участками рабочего процесса ИАП записываются в виде, удобном для программной организации циклических процессов.

Участок 1, соответствующий разгону реактора, описывается системой уравнений

$$\begin{aligned}
 M\ddot{\xi} + 2k_p \dot{\xi} + 2C_p z - 2k_p \dot{\xi} - 2C_p \xi &= 0; \\
 m\ddot{\xi} + 2(k_p + k_{ш})\dot{\xi} + 2(C_p + C_{ш})\xi - 2k_p \dot{\xi} - 2C_p z &= 2k_{ш} \dot{\xi}_{cr} + 2C_{ш} h_{cr}; \\
 \ddot{\xi}_{cr} + \ddot{\xi}_{пл} k_{пл} \sqrt{2} + h_{cr} k_{пл}^2 &= k_{пл}^2 \cdot h; \\
 A_1 \ddot{\alpha} + A_2 \dot{\beta} + A_4 (\dot{\alpha} - \dot{\beta})^2 + A_6 \dot{\beta}^2 &= M_D; \\
 A_2 \ddot{\alpha} + A_3 \dot{\beta} + A_5 (\dot{\alpha} - \dot{\beta})^2 - A_6 \dot{\alpha}^2 &= 0; \\
 J_4 \ddot{\alpha} &= -r_k f_0 \eta_{тр} ((M + m)g - 2c_{ш} (h_{cr} - \xi)) / i_{тр}.
 \end{aligned}$$

Условие перехода на второй участок:  $\dot{\alpha} \leq \dot{\beta}$

Участок 2, соответствующий совместному движению реактора и ведомого маховика, описывается системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned}
 M\ddot{\xi} + 2k_p \dot{\xi} + 2C_p z - 2k_p \dot{\xi} - 2C_p \xi &= 0; \\
 m\ddot{\xi} + 2(k_p + k_{ш})\dot{\xi} + 2(C_p + C_{ш})\xi - 2k_p \dot{\xi} - 2C_p z &= 2k_{ш} \dot{\xi}_{cr} + 2C_{ш} h_{cr}; \\
 \ddot{\xi}_{cr} + \ddot{\xi}_{пл} k_{пл} \sqrt{2} + h_{cr} k_{пл}^2 &= k_{пл}^2 \cdot h; \\
 A_1 \ddot{\alpha} + A_2 \dot{\beta} + A_4 (\dot{\alpha} - \dot{\beta})^2 + A_6 \dot{\beta}^2 &= M_D; \\
 A_2 \ddot{\alpha} + (A_3 + J_4) \dot{\beta} + A_5 (\dot{\alpha} - \dot{\beta})^2 - A_6 \dot{\alpha}^2 &= \\
 = -r_k f_0 \eta_{тр} ((M + m)g - 2c_{ш} (h_{cr} - \xi)) / i_{тр};
 \end{aligned} \right\}$$

Условие перехода на третий участок:  $\sin(q(\alpha - \beta)) \leq 0$ .

Участок 3, соответствующий торможению реактора:

$$\left. \begin{aligned}
 A_1 \ddot{\alpha} + A_2 \dot{\beta} + A_4 (\dot{\alpha} - \dot{\beta})^2 + A_6 \dot{\beta}^2 &= M_D \\
 A_2 \ddot{\alpha} + A_3 \dot{\beta} + A_5 (\dot{\alpha} - \dot{\beta})^2 - A_6 \dot{\alpha}^2 &= 0;
 \end{aligned} \right\}$$

$$h_{cr} + h_{cr} k_{пл} \sqrt{2} + h_{cr} k_{пл}^2 = k_{пл}^2 \cdot h;$$

$$J_4 \ddot{\beta} = -r_k f_0 \eta_{тр} ((M + m)g - 2c_{ш} (h_{cr} - \xi)) / i_{тр}.$$

Условие перехода на четвертый участок:  $\beta \leq 0$ .

Участок 4, соответствующий режиму остановленного реактора:

$$M \ddot{\xi} + 2k_p \ddot{\xi} + 2C_p z - 2k_p \xi - 2C_p \xi = 0;$$

$$m \ddot{\xi} + 2(k_p + k_{ш}) \xi + 2(C_p + C_{ш}) \xi - 2k_p \xi - 2C_p z = 2k_{ш} h_{cr} + 2C_{ш} h_{cr}.$$

$$h_{cr} + h_{cr} k_{пл} \sqrt{2} + h_{cr} k_{пл}^2 = k_{пл}^2 \cdot h;$$

$$A_1 \ddot{\alpha} + A_2 \ddot{\beta} + A_4 (\ddot{\alpha} - \ddot{\beta})^2 = M_D;$$

$$J_4 \ddot{\beta} = -r_k f_0 \eta_{тр} ((M + m)g - 2c_{ш} (h_{cr} - \xi)) / i_{тр}.$$

Условие перехода на первый участок:  $\sin(q(\alpha - \beta)) \geq 0$ .

При анализе полученной математической модели использован метод Рунге-Кутты 4 порядка и метод Фельберга для контроля вычислительной погрешности по контрольному члену и корректировки шага интегрирования. Контроль вычислительной погрешности и корректировка шага интегрирования производится в такте совместного движения реактора и ведущего маховика, так как в этом такте происходит максимальное изменение скоростей звеньев ИАП.

Численный анализ полученных уравнений проводился в программе RM-Optim. По результатам решения получены графики законов движения звеньев ИАП, подвески и законов изменения момента сил сопротивления.

Численный анализ полученной модели показал следующее:

1. Неровности микропрофиля опорного основания вызывают интенсивные колебания ведущего моста колесной машины, что влияет, в основном, на мгновенную величину момента сил сопротивления, представляющего собой случайный процесс со значительной дисперсией и законом распределения, близким к нормальному. При этом его средняя величина на разных опорных основаниях и скоростях движения может как увеличиваться до 4,5%, так и уменьшаться на 3,7% за отрезок наблюдения в зависимости от скорости движения и вида опорного основания по отношению к моменту сил сопротивления, определенному без учета колебаний ходовой системы.

2. По мере разгона реактора ИАП при правильно подобранной величине его момента инерции при достижении внутреннего передаточного отношения передачи 0,68 – 0,73 происходит переход на режим динамической муфты. Момент выхода на режим динамической муфты определяется моментом сил сопротивления, и, следовательно, типом опорного основания и скоростью движения машины. Графически представлены процессы выхода на режим динамической муфты ИАП грузового автомобиля с постоянным моментом сил сопротивления, рассчитанным без учета влияния микропрофиля на его величину, и переменным моментом сил сопротивления.

3. Анализ статистических характеристик реализаций момента сил сопротивления на ведомом маховике инерционной передачи показал, что среднеквадратичное отклонение момента, его интервал, а, следовательно, и амплитуда колебаний, растут с увеличением скорости движения машины. Средняя же его величина имеет экстремальный характер. При этом со скорости 12,6 м/с момент сил сопротивления начинает уменьшаться, что связано с ростом случаев отрыва колеса от опорного основания. При этом растет эксцесс и асимметричность, что свидетельствует о растущем отклонении распределения совокупности реализаций момента сил сопротивления от нормального.

*Работа выполнена по плану Министерства образования и науки Российской Федерации.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Баженов С.П. Бесступенчатые передачи тяговых и транспортных машин/С.П. Баженов. – Липецк: ЛГТУ, 2003. – 81 с.  
Белецкий А.В. Математическое моделирование и выбор оптимальных проектных решений в САПР преобразователей момента инерционных передач/А.В. Белецкий. Дисс. к.т.н. – Липецк: ЛГТУ, 2005. – 146 с