

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОДЪЕМНО-НАВЕСНОГО УСТРОЙСТВА ФРОНТАЛЬНОГО ПОГРУЗЧИКА

В. Б. ПОПОВ

Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого

В. А. ДОВГЯЛО

Белорусский государственный университет транспорта

Фронтальные погрузчики по общей компоновке и устройству агрегатирования с рабочим орудием (далее везде – подъёмно-навесное устройство (ПНУ) погрузчика) незначительно отличаются друг от друга. Проектирование и модернизация ПНУ для мобильных агрегатов носит автоматизированный характер и базируется на математическом моделировании соответствующих рабочих функций. Предлагаемая вниманию функциональная математическая модель (ММ) перемещения рабочего орудия с помощью ПНУ относится к одноковшовому фронтальному погрузчику, обладающему весьма распространенной структурной схемой ПНУ [1].

Как правило, ПНУ имеют гидромеханическую природу и состоят из гидропривода и механизмов подъема стрелы (МПС) и поворота рабочего орудия (МПРО). Упомянутые механизмы представляют основной структурный компонент ПНУ, причем их структура и параметры определяют характер взаимодействия фронтального погрузчика с монтируемым на стреле рабочим орудием, а следовательно, и качество выполнения рабочих операций. Силовые гидроцилиндры нерегулируемого гидропривода приводят в движение расположенные симметрично относительно продольной плоскости симметрии погрузчика МПС и МПРО. Для понижения порядка ММ, без ущерба для существа решаемой задачи, анализируются плоские механизмы. Плоский аналог механизма из пространственной геометрической модели получают проецированием его характерных точек (центров шарниров) на продольную плоскость симметрии погрузчика. В результате структурного анализа замкнутых кинематических цепей по методике, изложенной в [2], получим четырех- (МПС) и шестизвенный (МПРО) механизмы, изменение обобщенных координат которых однозначно связано с положением рабочего орудия (ковша) относительно корпуса самого фронтального погрузчика. Для полученной структуры ПНУ были разработаны ММ для его геометрического, кинематического, силового и динамического анализа.

Гидравлическая компонента ПНУ представлена объемным гидроприводом открытого типа, состоящим из шестеренного гидронасоса, трехпозиционного гидрораспределителя, силового одностороннего гидроцилиндра, фильтра, бака, предохранительного клапана и регулируемого дросселя, соединенных гидромагистралями. Регулируемый дроссель в сливной магистрали обеспечивает ограничение скорости движения поршня относительно гильзы в гидроцилиндре (ГЦ), что важно в режиме опускания рабочего орудия. ММ динамического анализа для гидропривода ПНУ с переменной нагрузкой на силовом ГЦ подробно изложена в работе [3]. Закон движения поршня и потери давления в гидромагистрали определяются в результате решения одним из численных методов системы нелинейных дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \dot{p}_1 = \frac{E_{np}}{V_0 + F_c(S - S_0)} Q - \frac{F_c E_{np}}{V_0 + F_c(S - S_0)} \dot{S}; \\ p_2 = p_1 - \left(a_1 \ddot{S} + a_2 \dot{S} + a_3 \dot{S}^2 \right); \\ m(S) \ddot{S} + \frac{1}{2} m'(S) \dot{S}^2 = p_2 F_c - [F(S) + F_{тр}^{np}(S)], \end{cases}$$

где E_{np} – приведенный модуль объемной упругости; Q – объемная подача рабочей жидкости гидронасосом; V_0 – начальный объем рабочей жидкости; S, S_0 – текущее и начальное значения обобщенной координаты; a_1, a_2, a_3 – коэффициенты, пропорциональные инерционным, ламинарным и турбулентным потерям давления в гидроприводе; $m(S)$ – приведенная масса; $m'(S)$ – производная от приведенной массы по обобщенной координате; p_1, p_2 – давления у гидронасоса и ГЦ; F_c – площадь поршня ГЦ; $F(S), F_{тр}^{np}(S)$ – приведенные к ГЦ силы полезной нагрузки и трения.

ММ геометрического, кинематического и силового анализа представляются алгебраическими зависимостями и системами уравнений, описывающими установившийся режим подъема ковша. Геометрический и кинематический анализ МПС и МПРО выполнялись по методу замкнутых векторных контуров [2]. Геометрический анализ выполнялся исходя из предположения о несжимаемости рабочей жидкости в ГЦ и абсолютной жесткости звеньев механизмов в правой декартовой системе координат. В результате геометрического анализа определяются: координаты центра тяжести и оси подвеса стрелы, её максимальная высота подъема и вылет, а также угол поворота рабочего органа. В результате кинематического анализа были получены аналитические выражения для ана-

догов угловых скоростей звеньев механизмов и их передаточных чисел (ПЧ) [4], а также для грузо-подъемности ПНУ:

$$I_{09}(S) = \varphi_3(S)L_{39} \cos(\varphi_{39}(S)),$$

где $\varphi_3'(S)$ – аналог угловой скорости стрелы; $I_{09}(S)$ – аналог (ПЧ) вертикальной скорости оси подвеса стрелы; S – обобщенная координата МПС.

Из анализа приведенных выражений следует, что ПЧ полностью зависит от внутренних параметров механизма. Приведенная к ГЦ полезная нагрузка определяется как произведение соответствующего веса (P) на ПЧ.

Силовой анализ выполнялся по группам Ассура в обратном порядке с учетом веса стрелы и рабочего орудия, вес других звеньев и их инерция не учитывались. Расчет приведенной к штоку ГЦ МПС силы трения выполнялся, считая ее равной отношению от деления суммы мгновенных мощностей трения, затрачиваемых в шарнирах МПС на S плюс трение манжеты поршня о гильзу ГЦ ($F_{\text{три}}$):

$$F_{\text{тр}}^{\text{np}}(S) = F_{\text{три}} + rf_m [R_{01}(S)\varphi'_{12}(S) + R_{23}(S)(\varphi'_{12}(S) + \varphi'_3(S)) + R_{03}(S)\varphi'_3(S)],$$

где r – радиус шарниров МПС; f_m – коэффициент трения металла о металл (пальца шарнира о его втулку); $R_{ij}(S)$ – сила реакции в шарнире.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Щемелев А.М. Проектирование гидропривода машин для земляных работ: Учеб. пособие. – Могилев: ММИ, 1995 – 322 с.
- 2 Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин: Учеб. для втузов. – М.: Наука, 1988. – 640 с.
- 3 Попов В.Б. Математическое моделирование динамики подъема навесной машины // Современные проблемы машиноведения: Материалы междунар. науч.-техн. конф. ТЦ. – Гомель, 1998. – С. 80–83.
- 4 Попов В.Б. Аналитические выражения кинематических передаточных функций механизмов навески энергоносителей // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. – 2000. – №2. – С. 25–29.