

Механика

УДК 621.01

A.A. ДЖОМАРТОВ, Г. УАЛИЕВ

(Институт механики и машиноведения им. У. А. Джолдасбекова, Алматы)

ОБОБЩЕННАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МАШИНЫ-АВТОМАТА

Аннотация

В работе рассматривается составление обобщенной динамической модели машины-автомата с учетом упругости звеньев механизмов, динамики двигателя и системы управления на основе ее функциональной схемы. Получены системы уравнений описывающих динамику управляемой машины-автомата с упругими звеньями.

Ключевые слова: машина-автомат, динамическая модель, упругость, двигатель.

Тірек сөздер: машина-автомат, динамикалық үлгі, серпімділік, қозғалтқыш.

Keywords: automatic machine, dynamical model, elasticity, motor.

Современные машины-автоматы представляют собой сложные разветвленные электромеханические системы, состоящие из большого количества различных по структуре и назначению механизмов, взаимосвязанных через главный вал машины-автомата. В основном это - кулачковые, рычажные, зубчатые, фрикционные и комбинированные цикловые механизмы, электрические двигатели и устройства автоматического контроля и управления. Для упрощения анализа такой сложной системы до недавнего времени не учитывалось как динамическое взаимодействие механизмов машины-автоматы через главный вал, так и динамическое взаимодействие механизмов с приводом и системой управления.

Такой подход к исследованию динамики машин-автоматов был оправдан, во-первых, при невысоких скоростях вращения главного вала машины-автоматы влиянием упругости звеньев можно было пренебречь, во-вторых, собственные частоты механической системы располагались за частотой среза привода и системы управления. В последнее время в связи с общей тенденцией повышения рабочих скоростей машин, с появлением соответствующих малоинерционных приводов и быстродействующих систем управления, ситуация резко изменилась. Увеличение частот и величин знакопеременных инерционных сил цикловых механизмов привело к тому, что заметное влияние на работу машины-автоматы начали оказывать колебательные процессы, обусловленные упругостью звеньев, динамическим взаимодействием механизмов, привода и системы управления машиной-автоматом.

Учет динамического взаимодействия указанных составных частей машины-автоматы возможен лишь в рамках ее обобщенной комплексной динамической модели.

В основу разработки обобщенной динамической модели может быть положена динамическая модель машины-автоматы с учетом упругости главного вала [1], которая представляет собой многомассовую колебательную систему с разветвленной структурой с переменными массами и моментами инерции, и если дополнительно учесть динамику привода, системы управления [2] и влияние кинематических и динамических параметров механизмов на переменность масс и моментов инерции.

Рассмотрим основные этапы разработки и исследования обобщенной динамической модели машины-автоматы с учетом упругости звеньев механизмов, динамики двигателя и системы управления.

Функциональная схема машины-автомата в общем виде представлена на рис.1, где D -двигатель; M -механизмы; CY -система управления; AC -источник активных сил; $\bar{u} = (u_1, \dots, u_l)^T$ - вектор управляющих воздействий на входе двигателей; \bar{Q} - вектор обобщенных сил, развиваемых двигателями; \bar{v} - силовое управление; q^* -кинематическое управление; \bar{P} -вектор сил сопротивления; $\bar{q} = (q_1, \dots, q_l)^T$ -вектор выходных координат двигателей; $\bar{x} = (x_1, \dots, x_l)^T$ -вектор выходных координат механизмов.

В любом двигателе можно выделить входные параметры, управляющие процессами в двигателе, и выходное звено, совершающее вращательное или возвратно-поступательное движение. Вектор входных параметров обозначен на рис.1, обозначен через \bar{u} , вектор выходных обобщенных координат выходных звеньев - через \bar{q} .

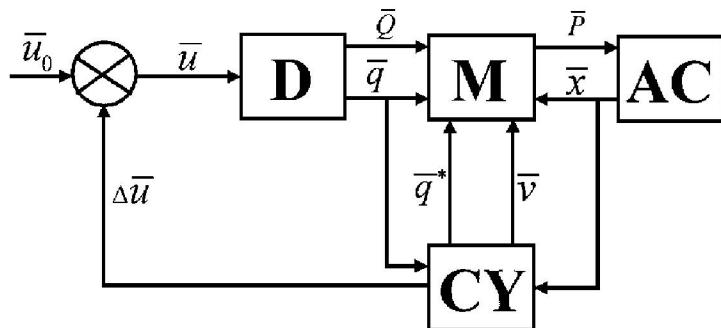


Рисунок 1 – Функциональная схема машины-автомата

Обобщенные движущие силы, создаваемые двигателями и приводящие в движение машину-автомат, образуют вектор \bar{Q} .

Уравнение электропривода в общем виде можно записать как

$$D_i \{u_i, q_i, Q_i\} = 0, i = \overline{1, l} \quad (1)$$

где D_i - некоторый оператор; u_i - управляющее воздействие; q_i - выходная координата двигателя; Q_i - обобщенная сила, развивающаяся двигателем; l - число степеней свободы механизма машины-автомата.

Механическая часть машины-автомата, обозначенная на рис.1 буквой M , состоит из механизмов, каждый из которых будет в дальнейшем рассматриваться как механическая система с голономными, стационарными, удерживающими связями.

Функции положения механизмов - Π_r в общем случае можно представить в виде

$$x_r = \Pi_r(\bar{q}), r = \overline{1, m} \quad (2)$$

где \bar{x}_r - выходная координата r -го механизма, в качестве которого может служить одна из координат рабочих органов машины-автомата или других характерных точек ее механизмов.

При движении машины-автомата и выполнении рабочих процессов возникают активные силы \bar{P} которые можно считать внешними. Они могут быть представлены в общем случае функциями координат и скоростей рабочих органов:

$$P_k = P_k(\bar{x}, \dot{\bar{x}}), k = \overline{1, d}$$

Функции положения Π_r отражают свойство идеализированных механизмов, звенья которых считаются жесткими. При учете упругости звеньев механизма число обобщенных координат, определяющих положение рабочих органов механизма, т.е. число степеней свободы будет большим, чем 1. Это связано с тем, что необходимо ввести дополнительные координаты $\theta_1, \dots, \theta_n$, отражающие величины деформаций звеньев, в силу чего функции положения механизмов примут вид:

$$x_r = \psi_r(q_1, \dots, q_l, \theta_1, \dots, \theta_n), r = \overline{1, m} \quad (3)$$

Деформации θ_j , ($j = \overline{1, n}$) обычно малы по величине, что позволяет в ряде случаев линеаризовать уравнения (3)

$$x_r = \psi_r(q_1, \dots, q_l, 0, \dots, 0) + \sum_{j=1}^n \frac{\partial \psi_r}{\partial \theta_j}(q_1, \dots, q_l, 0, \dots, 0) \theta_j$$

где

$$\psi_r(q_1, \dots, q_l, 0, \dots, 0) \equiv \Pi_r(q_1, \dots, q_l), r = \overline{1, m}$$

Уравнения движения механизмов составляются, в предположении идеальности связей, накладываемых кинематическими парами, что позволяет использовать аппарат уравнений Лагранжа второго рода, которые приводят к системе уравнений вида:

$$L_j \{q_1, \dots, q_l, \theta_1, \dots, \theta_n, Q_1, \dots, Q_l\} = 0, j = \overline{1, l+n} \quad (4)$$

В динамической модели с жесткими звеньями

$$L_j^* \{q_1, \dots, q_l, Q_1, \dots, Q_l\} = 0, j = \overline{1, l} \quad (5)$$

Уравнение двигателей (1) совместно с уравнениями (4,5) составляют уравнение движения неуправляемой машины-автомата. Задача динамического анализа в этом случае сводится к определению законов изменения выходных координат $x_r(t)$, ($r = \overline{1, m}$) по заданным $u_i(t)$, ($i = \overline{1, l}$). Она сводится к интегрированию $(2l+n)$ уравнений (1) и (4), содержащих $(2l+n)$ неизвестных $(q_1, \dots, q_l, \theta_1, \dots, \theta_n, Q_1, \dots, Q_l)$, при заданных начальных условиях.

Если полученные законы движения выходных координат $x_r(t)$, ($r = \overline{1, m}$) не удовлетворяют поставленным техническим требованиям, то возникает задача динамического синтеза.

Один из путей решения этой задачи заключается в совмещении этой задачи с задачей синтеза механизмов, т.е. в соответствующем выборе функций положения (2).

Если же функции положения уже выбраны окончательно или заданы, то решение задачи сводится к определению управлений $u_i(t)$, ($i = \overline{1, l}$), обеспечивающих выполнение поставленных требований.

Совокупность функций $x_r^0(t)$, ($r = \overline{1, m}$), описывающих движение рабочих органов механизмов и удовлетворяющих всем техническим требованиям, называется программным движением, а совокупность функций $u_i^0(t)$, ($i = \overline{1, l}$), обеспечивающих получение программного движения механизмов, называется программным управлением.

Разница между реальным и программным движением

$$\xi_r(t) = x_r(t) - x_r^0(t), r = \overline{1, m}$$

Для уменьшения динамической ошибки необходимо введение дополнительного управления $\Delta u_i(t)$, ($i = \overline{1, l}$), которое реализуется системой управления.

Воздействие системы управления может осуществляться несколькими способами:

1) управление на входе двигателей на основе обратных связей о выходных координатах

$$\Delta u_i(t) = W_i \{q_1, \dots, q_l, x_1, \dots, x_m\}, i = \overline{1, l}$$

2) силовое управление - непосредственно формирует обобщенные силы v прикладываемые к входам механизмов. Например, маховик на входном валу механизма формирует воздействие $-J_{\max} \xi$. В общем случае

$$v_j = v \{q_1, \dots, q_l, x_1, \dots, x_m\}, j = \overline{1, k} \quad (6)$$

3) кинематическое управление - введение дополнительной степени свободы в механизм с координатой q^* , которая является управляемой:

$$q^* = q^* \{q_1, \dots, q_l, x_1, \dots, x_m\} \quad (7)$$

Таким образом, динамика управляемой машины-автомата описывается следующей системой уравнений:

1) Характеристики двигателей, которые с учетом обратных связей записутся в виде:

$$D_i \{u_i^0 + \Delta u_i, q_i, Q_i\} = 0, i = \overline{1, l}$$

2) Уравнения движения механической части

$$L_j \{q_1, \dots, q_l, q^*, \theta_1, \dots, \theta_n, Q_1, \dots, Q_l, v_1, \dots, v_k\} = 0, j = \overline{l+1, m}$$

3) Функции положения выходных координат

$$x_r = \Phi_r (q_1, \dots, q_l, q^*, \theta_1, \dots, \theta_n), r = \overline{1, m}$$

4) Уравнения системы управления машиной-автоматом (6,7)

При введении обратных связей на входы двигателей по выходным координатам механизмов возникает задача обеспечения устойчивости (стабилизации) заданного программного движения.

Разработанный алгоритм составления обобщенной динамической модели машины-автомата с учетом упругости звеньев механизмов, динамики двигателя и системы управления на основе ее функциональной схемы позволит более точно описать динамику сложных машин-автоматов.

ЛИТЕРАТУРА

1 Вульфсон И.И. Динамические расчеты цикловых механизмов.-Л., Машиностроение, 1976. - 328с.

2 Уалиев Г., Джомартов А.А.. Динамика механизмов ткацких станков-автоматов СТБ. - Алматы, Тауар, 2003. - 377 с.

REFERENCES

1 Vul'fson I.I. *Dinamicheskie raschety ciklovyh mehanizmov*. L., Mashinostroenie, 1976. 328, (in Russ.)

2 Ualiev G., Dzhomartov A.A. *Dinamika mehanizmov tkackih stankov-avtomatov STB*. Almaty, Tauar, 2003. 377, (in Russ.)

Резюме

Жомартов А.А., Уалиев Г.

(Академик Θ.А. Жолдасбеков атындағы механика және машинатану институты, Алматы)

МАШИНА-АВТОМАТЫҢ ЖАЛПЫЛАМА ДИНАМИКАЛЫҚ ҮЛГІСІ

Жұмыста механизм буындарының серпімділігін, қозғалтқыш динамикасын және оның функционалдық сұлбасының негізінде басқару жүйелерін ескере отырып, машина-автоматтың жалпылама динамикалық үлгісін құрастыру қарастырылады. Буындары серпімді машина-автоматтармен басқарылатын динамиканы сипаттайтын тендеулер жүйесі алынды.

Тірек сөздер: машина-автомат, динамикалық үлгі, серпімділік, қозғалтқыш.

Summary

Jomartov A.A., Ualiyev G.

(Institute of Mechanics & Mechanical Engineering, Almaty)

GENERALIZED DYNAMICAL MODEL OF AUTOMATIC MACHINES

We consider the compilation a generalized dynamic model of automatic machine based on the elasticity of links mechanisms, dynamics of motor and system of the control based on its functional scheme. Combined the equations which describing the dynamics of the control of automatic machine with elastic links.

Keywords:automatic machine, dynamical model, elasticity, motor.

Поступила 24.12.2013 г.