

Расчет и конструирование машин

УДК 621.865

Модель мехатронного модуля с двумя степенями подвижности

В.А. Калядин, М.М. Стебулянин

Описан мехатронный модуль с двумя степенями подвижности, состоящий из двух последовательно соединенных однокомпонентных модулей, каждый из которых реализуется системой исполнительный двигатель — механическая передача с учетом упругости и зазора в зубчатой паре. Смоделировано взаимовлияние движений по обобщенным координатам системы. Полученную модель можно использовать для изучения многосвязных систем в робототехнике.

Ключевые слова: мехатронный модуль, механическая передача, упругий элемент.

The article describes a mechatronic module having two degrees of freedom which consists of series of two single component modules, each being realized by the system: the dc motor — the mechanical transmission considering elasticity and backlash in a gear pair. A mutual influence of generalized coordinates movements is simulated. This model may be applied to study the multilinked systems in robotics.

Keywords: mechatronic module, mechanical transmission, elastic object.

В настоящее время мехатроника является основой для проектирования и создания различных исполнительных модулей технических систем. Мехатронный модуль представляет собой функционально и конструктивно самостоятельное изделие, осуществляющее заданное перемещение с требуемым качеством.

Широкое распространение получили мехатронные модули движения по одной обобщенной координате, называемые однокомпонентными (рис. 1). Из таких модулей строят модульные мехатронные сис-



КАЛЯДИН
Владимир Анатольевич
аспирант



СТЕБУЛЯНИН
Михаил Михайлович
кандидат технических
наук, доцент
кафедры «Робототехника
и мехатроника» ФГБОУ
ВПО МГТУ «Станкин»



Рис. 1. Структура однокомпонентного мехатронного модуля

темы, в которых суммой движений нескольких однокомпонентных модулей является требуемое перемещение объекта управления. Построение систем на основе модульного принципа позволяет использовать стандартные приводы движения при реализации необходимых компоновок в целях решения различных технологических задач в короткие сроки и при минимальной стоимости изготовления и обслуживания.

При проектировании модульных компонентов необходимо целесообразно учитывать требования универсальности. Это позволит применять конкретный модуль в составе различных устройств с сохранением его функциональных характеристик [1].

Рост требований к качеству и массогабаритным характеристикам современных конкурентоспособных систем ведет к созданию многокомпонентных мехатронных модулей.

Задачей предлагаемой статьи является построение модели двухкомпонентного мехатронного модуля с последовательным соединением исполнительных приводов с целью создания возможного инструмента исследования процессов в многосвязных системах. Например, автоколебательные режимы, зачастую возни-

кающие при настройке регуляторов робототехнических систем в силу нелинейностей в исполнительных приводах движения, недостаточно исследованы для систем с взаимовлиянием координат.

Модель однокомпонентного мехатронного модуля

Построим модель мехатронного модуля движения по одной степени подвижности в составе исполнительного двигателя постоянного тока с независимым возбуждением и механической передачи в виде одноступенчатого редуктора. При этом учтена естественная обратная связь по скорости вращения вала $\omega_{дв}$ с коэффициентом противоЭДС k_e .

При моделировании необходимо учесть конструктивные особенности — наличие зазора и упругой деформации механической передачи движения от исполнительного двигателя к нагрузке.

Для построения модели однокомпонентного модуля используем подход, предложенный в работе [2], согласно которому выходная координата рассчитывается не кинематически, а на основании закона Ньютона для вращательного движения. Для однокомпонентного модуля коэффициент пропорциональности (момент инерции) углового ускорения и движущего момента является постоянной величиной, а для многокомпонентных модулей — функцией обобщенных координат модуля.

Трансформаторный элемент моделирует идеальный редуктор с передаточным отношением

$$\omega_{вых} = \omega_{вх} / i; \quad i > 1 \quad (1)$$

Реальное зубчатое зацепление в соответствии с работой [2] представлено системой реально-упругий элемент — зона нечувствительности и описывается следующими уравнениями:

$$M_f = f_y F_2(\alpha_d, \alpha_n) \frac{d(\alpha_d - \alpha_n i)}{dt}; \quad (2)$$

$$F_2(\alpha_d, \alpha_n) = \begin{cases} 0 & \text{при } |\alpha_d - \alpha_n| \leq b, \\ 1 & \text{при } |\alpha_d - \alpha_n| > b; \end{cases} \quad (3)$$

$$M_c = c_y F_1(\alpha_d, \alpha_n); \quad (4)$$

$$F_1(\alpha_d, \alpha_n) = \begin{cases} 0 & \text{при } |\alpha_d - \alpha_n| \leq b, \\ \alpha_d - \alpha_n - b & \text{при } \alpha_d - \alpha_n > b, \\ \alpha_d - \alpha_n + b & \text{при } \alpha_d - \alpha_n < b, \end{cases} \quad (5)$$

где f_y, c_y — коэффициент вязкого трения и упругости в механической передаче; α_d — угол поворота вала двигателя; α_n — угол поворота вала нагрузки; b — половина величины зазора.

Функция сопротивления представлена нелинейностью типа сухого трения:

$$F_3(\dot{\alpha}_n) = \begin{cases} M_{T0} \text{sign}(\dot{\alpha}_n) & \text{при } |\dot{\alpha}_n| > 0, \\ M_a & \text{при } \dot{\alpha}_n = 0 \text{ и } |M_a| < M_{T0}, \\ M_{T0} \text{sign}(M_a) & \text{при } \dot{\alpha}_n = 0, \\ u |M_a| \geq M_{T0}, \end{cases} \quad (6)$$

где M_{T0} — момент сил сухого трения при трогании; $\dot{\alpha}_n$ — угловая скорость движения нагрузки; M_a — момент активных сил, приложенных к нагрузке.

Структурная схема модели мехатронного модуля с учетом зависимостей (1)–(6) приведена на рис. 2.

Представим однокомпонентный мехатронный модуль в виде трехполюсника (рис. 3), имеющего два входа — питающее напряжение двигателя U и угловая скорость нагрузки $\dot{\alpha}_n$ (выходного вала модуля), и один выход — действующий на нагрузку момент M_a .



Рис. 3. Представление мехатронного модуля в виде трехполюсника

Модель двухкомпонентного мехатронного модуля

Кинематическую схему двухкомпонентного мехатронного модуля представим системой, состоящей из двух тел в виде стержней, имеющей две обобщенные координаты в кинематических парах с коллинеарными осями (рис. 4).

Обозначив обобщенные координаты ψ и φ , опишем динамику модуля с помощью уравнений Лагранжа II-го рода [3].

Кинетическая энергия системы:

$$T = \frac{1}{2} J \dot{\varphi}^2 + \frac{1}{2} (mr^2 \dot{\psi}^2 + 2mrs\dot{\varphi}\dot{\psi} \cos \beta + \theta \dot{\psi}^2), \quad (7)$$

где J — момент инерции первого тела; θ — момент инерции второго тела; r — длина первого стержня; m — масса второго стержня; s — расстояние от центра тяжести второго стержня до точки его подвеса; $\beta = \psi - \varphi$.

Значения производных кинетической энергии определяют по следующим формулам:

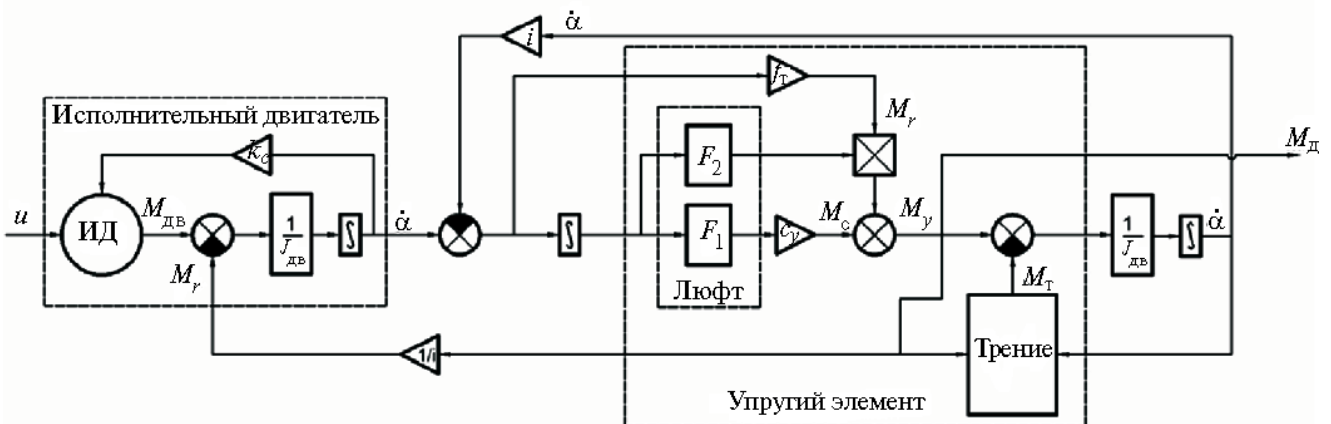


Рис. 2. Структурная схема модели мехатронного модуля

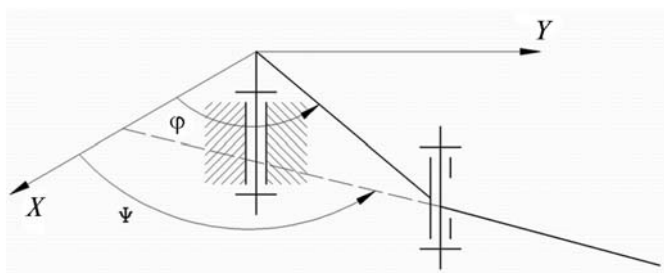


Рис. 4. Кинематическая схема двухкомпонентного мехатронного модуля движения

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} = mrs\dot{\psi} \sin \beta; \tag{8}$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} = J\ddot{\varphi} + mr^2\ddot{\varphi} + mrs\ddot{\psi} \cos \beta - mrs\dot{\psi}^2 \sin \beta + mrs\dot{\varphi}\dot{\psi} \sin \beta; \tag{9}$$

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\psi}} = -mrs\dot{\varphi} \sin \beta; \tag{10}$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\psi}} = \theta\ddot{\psi} + mrs\ddot{\varphi} \cos \beta - mrs\dot{\varphi}\dot{\psi} \sin \beta + mrs\dot{\psi}^2 \sin \beta. \tag{11}$$

Обозначим

$$\begin{aligned} A_1 &= J + mr^2; & B_1 &= mrs \cos \beta; \\ C_1 &= mrs \sin \beta; & A_2 &= \theta. \end{aligned} \tag{12}$$

Тогда уравнения Лагранжа динамики модуля примут следующий вид:

$$\begin{cases} A_1\ddot{\varphi} + B_1\ddot{\psi} - C_1\dot{\psi}^2 = Q_1; \\ A_2\ddot{\psi} + B_1\ddot{\varphi} - C_2\dot{\varphi}^2 = Q_2. \end{cases} \tag{13}$$

Запишем $b = mrs$, тогда уравнениям (13) соответствует модель, описывающая взаимовлияние составных частей модуля, которая представлена на рис. 5. Назовем данную модель блоком взаимодействия движений. Поскольку внутри этой модели необходимо проводить интегрирование скоростей, представим этот блок в виде шестиполосника с доступными оператору выходами обобщенных координат и обобщенных скоростей (рис. 6).

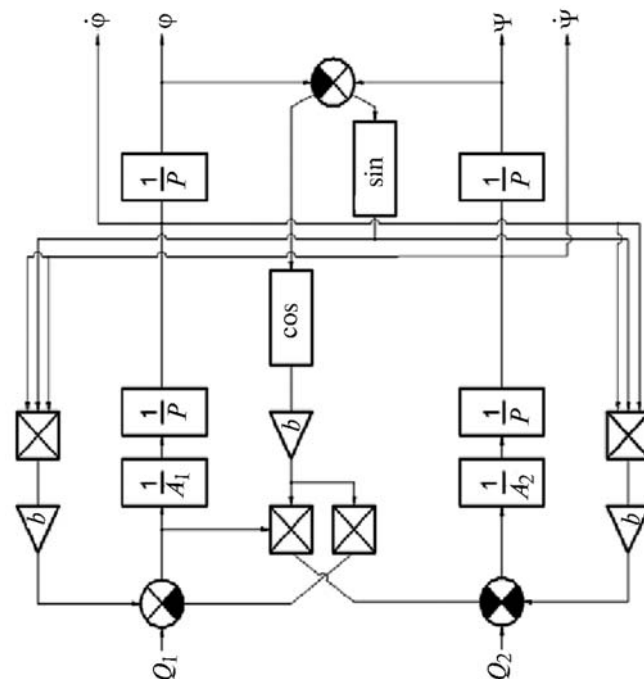


Рис. 5. Модель взаимодействия модулей в двухкомпонентной системе



Рис. 6. Представление блока взаимодействия движений в виде шестиполосника: входы Q_1, Q_2 — обобщенные силы; выходы — углы и скорости перемещений первого и второго звеньев $\varphi, \psi, \dot{\varphi}, \dot{\psi}$

Схема модели мехатронной системы, состоящей из двух однокоординатных модулей и блока взаимодействий движений, представлена на рис. 7. Здесь мехатронные модули соответствуют моделям, изображенным на рис. 2, а блок взаимодействия (см. рис. 7) движений описывается системой (12).

Построенная модель позволяет реализовать движение двухкоординатного мехатронного модуля как единой системы двух модулей перемещения с учетом их взаимодействий.

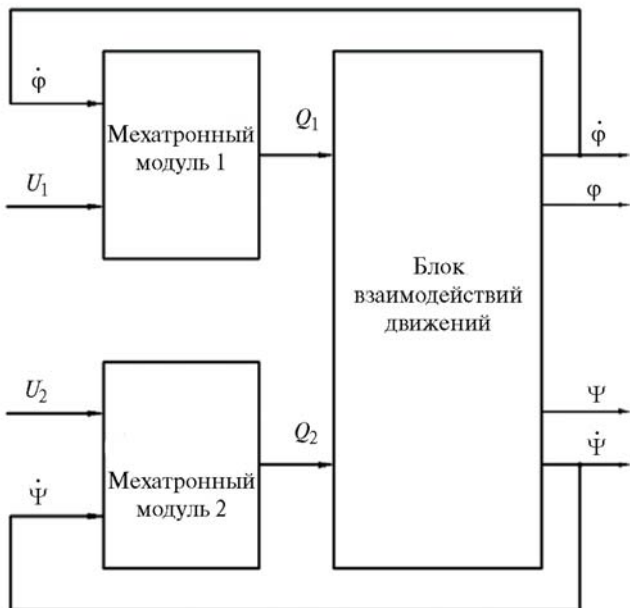


Рис. 7. Схема модели двухкомпонентного мехатронного модуля

Выводы

1. Разработанная модель реализует модульный принцип моделирования многосвязной мехатронной системы с учетом упругости и зазоров в механических передачах в соответствии с которым однокомпонентные модули соединяются друг с другом через блок взаимодействия движений.

2. С увеличением числа компонентов модель трехполюсника, описывающего однокомпонентный мехатронный модуль, усложняться не будет, поскольку все кинематические связи, влияющие на значение момента инерции модуля, будут учитываться в блоке взаимодействия движений.

Литература

1. Кулешов В.С., Подураев Ю.В. Принципы построения и современные тенденции развития мехатронных систем // Мехатроника. 2000. № 1. С. 5–10.
2. Автоматизированное проектирование следящих приводов и их элементов / М.В. Баранов, Ю.В. Илюхин, А.Г. Лесков, А.О. Парфенов и др. М.: Энергоатомиздат, 1984. 240 с.
3. Лурье А.И. Аналитическая механика. М.: Изд-во Физматлит, 1961. 824 с.

Статья поступила в редакцию 24.10.2011