

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА
И ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ДИНАМИКИ
ДЛЯ СИНТЕЗА УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ
МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ**

Ле Ба Хань

*Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Российская Федерация*

Информация о статье

Дата поступления
16 ноября 2016 г.

Дата принятия к печати
19 декабря 2016 г.

Дата онлайн-размещения
28 февраля 2017 г.

Ключевые слова

Мехатронные системы;
системный анализ; обратные
задачи динамики; управление
колебаниями; структурно-
параметрический синтез

Аннотация

При применении методов системного анализа процесс функционирования исполнительных механизмов мехатронных систем представляется в виде широко используемой схемы исследования. Управляемое движение систем по степеням подвижности мехатронной машины можно разделить на программное и колебательное. В статье на примере двухмассовой мехатронной системы рассматриваются вопросы синтеза управления упругими колебаниями на основе методов системного анализа и решения обратных задач динамики. Полученное при этом управляющее воздействие может быть реализовано либо непосредственно программными средствами, либо с целью осуществления управления по принципу обратной связи пересчитано путем исключения времени в функциональные зависимости от фазовых координат. Приводятся результаты численного моделирования эффективности управления движением двухмассовой мехатронной системы, показывается, что управляющее воздействие позволяет уменьшить амплитуды упругих колебаний и сократить длительность переходных процессов.

**USING THE SYSTEM ANALYSIS METHODS
AND THE INVERSE DYNAMICS
FOR THE MECHATRONIC SYSTEMS
MOTION CONTROL SYNTHESIS**

Le Ba Khanh

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation

Article info

Received
November 16, 2016

Accepted
December 19, 2016

Available online
February 28, 2017

Keywords

Mechatronic systems; system
analysis; inverse dynamics;
oscillation control;
structural-parametric synthesis

Abstract

The mechatronic systems' actuators functioning process is actualised as a widely used research design, when using the system analysis methods. By the rate of mechatronic machine's mobility, the controlled movement can be categorised into programmed motion and oscillatory motion. Having taken the dual mass mechatronic system as an example, this article considers synthesis of controlling the mechanical oscillations based on system analysis methods and inverse dynamics. The control gained by such method can be either implemented directly by the software means, or, in case of using a feedback control, recalculated into phase coordinates functions by excluding the time variable. The results of a digital model of the dual mass mechatronic system motion control effectiveness are shown as well as the control's ability to lower the amplitudes of mechanical oscillations and shorten the duration of transition processes.

В течение последних лет в связи с созданием и развитием таких мехатронных машин, как промышленные и транспортные роботы, станки с программным управлением и обрабатывающие центры, динамические моделирующие стенды, манипуляционное и транспортное оборудование робототехнических комплексов и гибких производственных систем большое внимание уделяется вопросам разработки и совершенствования систем автоматического управления движением [1]. Повышение скоростей движения исполнительных механизмов и требований к качеству и надежности функционирования этих машин вызывает необходимость учета упругих свойств звеньев и разработки способов компенсации колебательных движений системами программного управления [2–4]. В данной работе на примере двухмассовой мехатронной системы рассматриваются возможности использования методов системного анализа и концепции обратных задач динамики для синтеза управления упругими колебаниями.

При применении методов системного анализа процесс функционирования объекта управления может быть представлен в виде схемы, широко используемой во многих работах [5–7], касающихся этой области (рис. 1).



Рис. 1. Схема исследования функционирования объекта

Согласно этой схеме процесс выбора эффективного управления может быть представлен через взаимодействие объекта управления и средств определения его состояния. Для того, чтобы не накладывать ограничений на характер программного движения при синтезе систем управления предлагается сначала осуществить декомпозицию управляемого движения по степеням подвижности мехатронной машины, а затем разделить движение в направлении отдельной степени на программное и колебательное (рис. 2) [8]. При этом программное движение будет

происходить под действием заданной движущей силы привода при абсолютной жесткости звеньев и определяться технологическим процессом или условиями применения мехатронной системы, а колебательное — отклонениями исполнительного механизма от программного движения.



Рис. 2. Декомпозиция управляемого движения

Такое разделение дает возможность формировать требования только к колебательному движению. При этом структура управления упругими колебаниями может быть представлена как подсистема управления движением исполнительных механизмов мехатронных систем (рис. 3).

В схеме (см. рис. 3) используются следующие обозначения: X — вектор параметров исполнительных механизмов мехатронных систем; $f = f(f_1, f_2)$ — функция учета регулируемых и нерегулируемых параметров (ограничений); $\varphi = \varphi(\varphi_1, \varphi_2)$ — методы выбора вида управления (разомкнутое или замкнутое управление); $\psi = \psi(\psi_1, \psi_2)$ — методы синтеза управления; $Q = F[X, f, \varphi, \psi]$ — закон изменения управляющего воздействия.

Задание определенного колебательного движения позволит установить на основе решения обратных задач динамики не зависящие от структуры регулятора необходимые управляющие воздействия Q и обеспечить возможность осуществления процедуры структурно-параметрического синтеза системы управления движением путем выражения полученных временных зависимостей через фазовые координаты [9].

При этом управляющее воздействие Q может быть реализовано либо непосредственно программными средствами, либо для осуществления управления по принципу обратной связи пересчитано путем исключения времени в функциональные зависимости от фазовых координат (рис. 4).



Рис. 3. Подсистема управления упругими колебаниями

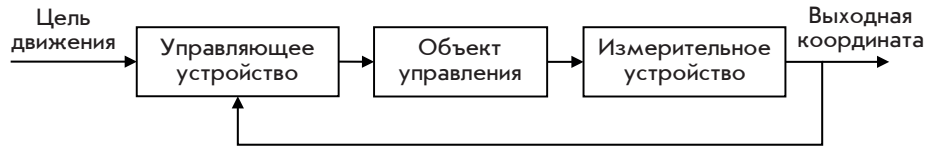


Рис. 4. Структурная схема системы управления с обратной связью

Продемонстрируем процедуру структурно-параметрического синтеза управления колебательными движениями двухмассовой мехатронной системы, расчетную схему которой можно представить графически (рис. 5). В схеме используются следующие обозначения: УМ — усилитель мощности; ЭД — электродвигатель; СУ — система управления; J_n — приведенный момент инерции двигателя и редуктора; J — момент инерции звена исполнительного механизма; c — приведенный коэффициент жесткости; b_n — коэффициент вязкого трения; M_n — движущий момент электродвигателя, приведенный к валу редуктора; M_n — момент нагрузки.

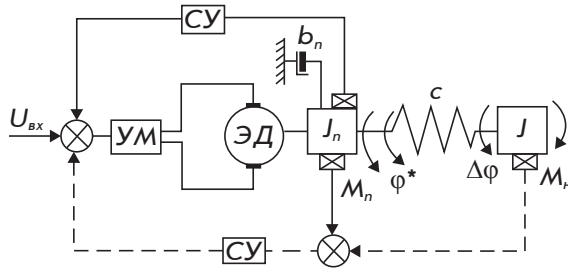


Рис. 5. Двухмассовая расчетная схема

Управляемое движение представлено в виде двух составляющих: программного движения как системы с абсолютно жесткой упругой связью, описываемой углом поворота вала электродвигателя φ_* , приведенным к выходу редуктора, и колебательного движения, определяемого углом упругой деформации $\Delta\varphi$.

Дифференциальные уравнения движения двухмассовой системы имеют следующий вид:

$$(J_n + J)\varphi'' + J\Delta\varphi'' + b_n\varphi' = M_n(t), \quad (1)$$

$$J\Delta\varphi'' + J\varphi'' + c\Delta\varphi = 0. \quad (2)$$

В работе Т. Б. Никитина «Синтез робастного управления двухмассовой электромеханической системой с учетом неопределенностей объекта управления» [10] на основе задания гармонического закона изменения упругих колебаний

$$\Delta\varphi = \gamma_p \left(1 - \cos \frac{2\pi}{T_p} t \right)$$

и решения обратной задачи динамики был найден требуемый закон изменения движущего момента

$$M_n(t) = \frac{(J_n + J)V_{уст}}{T_p} \left(1 - \cos \frac{2\pi}{T_p} t \right) + \frac{4\pi^2 m_1 V_{уст}}{\omega_0^2 T_p^3} \cos \frac{2\pi}{T_p} t, \quad (3)$$

где γ_p — постоянная величина; T_p — время разгона.

Задачу структурно-параметрического синтеза замкнутой системы управления движением двухмассовой мехатронной системы можно решить путем пересчета найденного закона управления (4) в функции, например, упругой деформации или ее производных.

Путем выражения тригонометрической функции через упругую деформацию, будем иметь

$$M_n(t) = M_0 - k_d \Delta\varphi$$

или

$$M_n(t) = M'_0 - k_a \Delta\varphi'',$$

где $k_d = [(4\pi^2 / T_p^2 - \omega_0^2)J_n - c]$, $M_0 = 4\pi^2 J_n V_{уст} / \omega_0^2 T_p^3$ — постоянные составляющие момента вала двигателя; $k_a = [J\omega_0^2 T_p^2 + J_n(\omega_0^2 T_p^2 - 4\pi^2)] / 4\pi^2$, $M'_0 = (J_n + J)V_{уст} / T_p$ — постоянные составляющие момента.

В качестве примера, приведена структурная схема системы управления с обратной связью вида (3), на которой КВУ — компьютер верхнего уровня; КД — контроллер движения; СП — силовой преобразователь; ИД — исполнительный двигатель; УКУ — устройство компьютерного управления; ДОС — датчик обратной связи (рис. 6).

Как следует из схемы (см. рис. 6) для осуществления управления по принципу обратной связи нужно измерять упругую координату $\Delta\varphi$. Полученный сигнал от датчика упругих деформаций и найденных коэффициентов усиления дополнительной обратной связи k_D подается на КД.

Для проверки эффективности управления проведено численное моделирование движений мехатронной системы на основе уравнений (1) и (2) с учетом (3) с помощью программы Matlab M.file при входном воздействии $M_0 = 1(t)$.

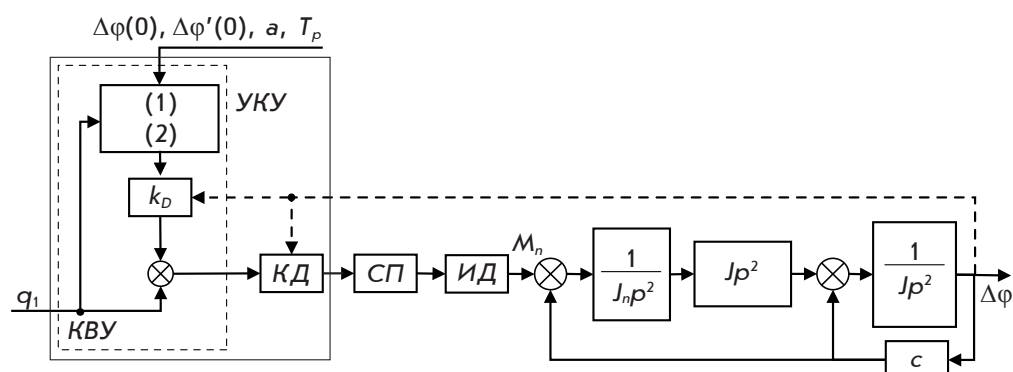


Рис. 6. Структурная схема системы с обратной связью по упругой деформации

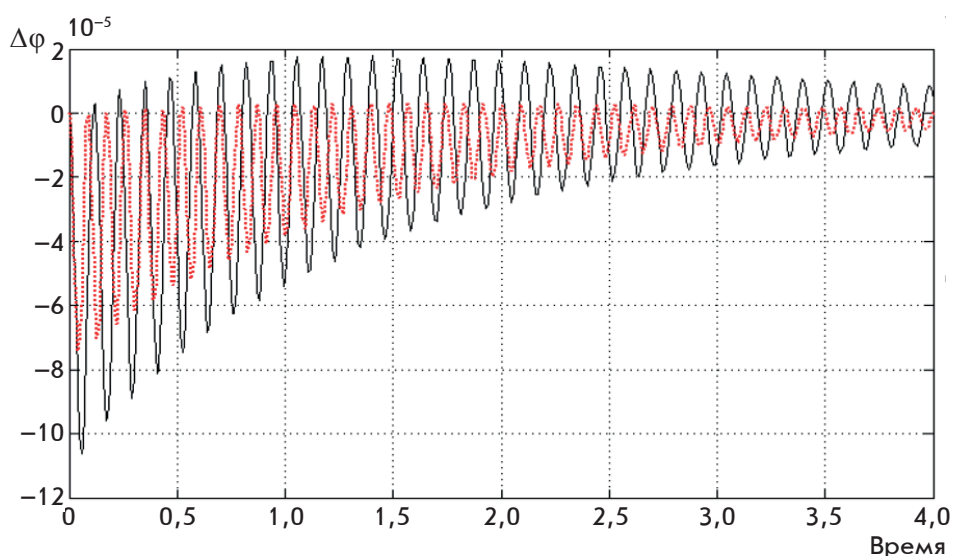


Рис. 7. Графики упругих колебаний

Результаты исследований показали, что управляющее воздействие позволило уменьшить амплитуды упругих колебаний и сократить длительность переходных процессов.

В качестве иллюстрации, приведены графики упругих колебаний (рис. 7) при следующих параметрах исходной системы: $\omega_0 = 7,12$; $\mu = 2$; $n = 0,56$. Сплошные линии

обозначают колебания без компенсирующего воздействия, а штриховые — с учетом этих воздействий (3).

Из графиков видно, что предлагаемое управление позволило уменьшить интенсивность упругих колебаний и увеличить декремент колебаний с $\delta_0 = 0,1$ для исходной системы до $\delta_1 = 0,22$ для системы с дополнительным управляющим воздействием.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вакуленко А. С. Алгоритмы и программы микроконтроллерного управления промышленным роботом / А. С. Вакуленко, В. Д. Сартаков // Вестник Иркутского государственного технического университета. — 2015. № 5. — С. 12–16.
2. Бургин Б. Ш. Выбор коэффициентов формы для двухмассовой электромеханической системы стабилизации скорости с комбинированным регулятором / Б. Ш. Бургин // Электричество. — 2008. — № 10. — С. 60–63.
3. Круглов С. П. Адаптивное управление в задаче гашения упругих колебаний трехмассовых исполнительных механизмов / С. П. Круглов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. — 2014. — № 1. — С. 54–61.
4. Кузнецов Н. К. Синтез алгоритмов управления колебаниями мехатронных систем на основе задания экспоненциальных законов изменения упругих координат / Н. К. Кузнецов, Ле Ба Хань // Вестник Иркутского государственного технического университета. — 2012. — № 10. — С. 43–47.
5. Кузнецов Н. К. Компенсация упругих колебаний мехатронных систем на основе управления по старшей производной / Н. К. Кузнецов, Ле Ба Хань // Авиамашиностроение и транспорт Сибири: материалы 3-й Всерос. науч.-практ. конф. Иркутск, 11–12 апр. 2013 г. — Иркутск: Иркут. гос. техн. ун-т, 2013. — С. 205–209.

6. Перегудов Ф. И. Введение в системный анализ / Ф. И. Перегудов, Ф. П. Тарасенко. — М. : Высш. шк., 1989. — 367 с.
7. Тарасенко Ф. П. Прикладной системный анализ : учеб. пособие / Ф. П. Тарасенко. — М. : КноРус, 2010. — 224 с.
8. Тихий И. И. Методологические основы определения состояния сложных объектов и их применение в авиационной технике : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.13.01 / И. И. Тихий. — Иркутск, 2011. — 43 с.
9. Кузнецов Н. К. Синтез алгоритмов управления упругими колебаниями многомассовых мехатронных систем на основе концепции обратных задач динамики / Н. К. Кузнецов, Ле Ба Хань // Электротехника. Энергетика. Машиностроение : сб. науч. тр. 1-ой Междунар. науч. конф. молодых ученых. Новосибирск, 2–6 дек. 2014 г. — Новосибирск : Новосиб. гос. техн. ун-т, 2014. — С. 90–93.
10. Никитина Т. Б. Синтез робастного управления двухмассовой электромеханической системой с учетом неопределенностей объекта управления / Т. Б. Никитина, М. О. Татарченко, В. В. Хоменко // Вісник Національного технічного університету ХПІ. Сер.: Автоматика та приладобудування. — Харків : Харків. політехн. ін-т, 2014. — № 15. — С. 114–125.

REFERENCES

1. Vakulenko A. S., Sartakov V. D. Algorithms and microcontroller programs for an industrial robot control. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of Irkutsk State Technical University*, 2015, no. 5, pp. 12–16. (In Russian).
2. Burgin B. Sh. Choosing form factors for a dual mass electromechanical velocity stabilizer system with a hybrid controller. *Elektrichestvo = Electricity*, 2008, no. 10, pp. 60–63. (In Russian).
3. Kruglov S. P. Adaptive control in vibration damping problem of three-mass actuators. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie = Modern Technologies. System Analysis. Modeling*, 2014, no. 1, pp. 54–61. (In Russian).
4. Kuznetsov N. K., Le Ba Khanh. Synthesis of algorithms to control mechatronic system vibrations based on setting exponential laws of elastic origin change. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of Irkutsk State Technical University*, 2012, no. 10, pp. 43–47. (In Russian).
5. Kuznetsov N. K., Le Ba Khanh. Compensating the mechanical oscillations in mechatronic systems on the leading derivative control basis. *Aviamashinostroenie i transport Sibiri. Materialy 3-i Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Irkutsk, 11–12 aprelya 2013 g.* [Automobile and aircraft industries and the transport of Siberia. Materials of the 3rd All-Russian Research Conference. Irkutsk, April 11–12, 2013]. Irkutsk State Technical University Publ., 2013, pp. 205–209. (In Russian).
6. Peregudov F. I., Tarasenko F. P. *Vvedenie v sistemnyi analiz* [Introduction to system analysis]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1989. 367 p.
7. Tarasenko F. P. *Prikladnoi sistemnyi analiz* [Applied system analysis]. Moscow, KnoRus Publ., 2010. 224 p.
8. Tikhii I. I. *Metodologicheskie osnovy opredeleniya sostoyaniya slozhnykh ob"ektov i ikh primeneniye v aviatsionnoi tekhnike. Avtoref. Dokt. Diss.* [Methodological basis for state detection of complex objects and its use in aviation. Doct. Diss. Thesis]. Irkutsk, 2011. 43 p.
9. Kuznetsov N. K., Le Ba Khanh. Multimass mechatronic systems mechanical oscillations control algorithms based on inverse dynamics concept. *Elektrotehnika. Energetika. Mashinostroenie. Materialy 1-oi Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii molodykh uchenykh. Novosibirsk, 2–6 dekabrya 2014 g.* [Electrical engineering. Power. Engineering. Materials of 1st International Research Conference of Young Scientists. Novosibirsk, December 2–6, 2014]. Novosibirsk State Technical University Publ., 2014, pp. 90–93. (In Russian).
10. Nikitina T. B., Tatarchenko M. O., Khomenko V. V. Synthesis of the dual mass electromechanical system robust control considering the controlled object's uncertainties. *Visnik Natsional'nogo tekhnicheskogo universitetu KhPI. Seriya: Avtomatika ta priladobuduvannya = Bulletin of Kharkiv Polytechnic Institute. Series Automation and Instrumentation*, 2014, no. 15, pp. 114–125. (In Russian).

Информация об авторе

Ле Ба Хань — аспирант, кафедра конструирования и стандартизации в машиностроении, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, e-mail: bakhanh25186@yahoo.com.

Author

Le Ba Khanh — PhD student, Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov St., 664074, Irkutsk, Russian Federation, e-mail: bakhanh25186@yahoo.com.

Библиографическое описание статьи

Ле Ба Хань. Использование методов системного анализа и обратных задач динамики для синтеза управления движением мехатронных систем / Ле Ба Хань // Известия Байкальского государственного университета. — 2017. — Т. 27, № 1. — С. 104–108. — DOI: 10.17150/2500-2759.2017.27(1).104-108.

Reference to article

Le Ba Khanh. Using the system analysis methods and the inverse dynamics for the mechatronic systems motion control synthesis. *Izvestiya Baykal'skogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Baikal State University*, 2017, vol. 27, no. 1, pp. 104–108. DOI: 10.17150/2500-2759.2017.27(1).104-108. (In Russian).