

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Ле Ба Ханя «Синтез алгоритмов управления движением упругих мехатронных систем на основе решения обратных задач динамики», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01.«Системный анализ, управление и обработка информации (региональные народнохозяйственные комплексы)»

Актуальность темы. Задачи динамики возникают в различных областях механики управляемых мехатронных систем, начиная от изделий бытовой техники, станков с числовым программным управлением, промышленных манипуляторов и автономных роботов и заканчивая гибкими автоматическими линиями, роботизированными промышленными комплексами, а также сложными транспортными системами различного типа и назначения.

Различают прямую и обратную задачи динамики. Решение прямой задачи динамики (задачи анализа) – определение траектории движения объекта под действием заданных управляющих сил или моментов, в связи развитием численных методов и пакетов прикладных программ на ЭВМ не вызывает затруднений. В настоящее время основной задачей мехатроники является обратная задача динамики (ОЗД) (задача синтеза) – определение таких управляющих сил и моментов, под действием которых объект осуществляет движение по назначенной траектории. Назначенная траектория либо задается аналитически непосредственно или через правую часть эталонной модели, либо формируется оптимальным образом в соответствии с интегральным критерием качества (принцип максимума Л.С. Понтрягина, динамическое программирование Р. Беллмана). На практике задача оптимального планирования траектории решается приближенно путем согласования произвольных начальных (граничных) условий назначенной траектории через свободную вариацию параметров мехатронной системы (структурно-параметрический синтез) или за счет локальной оптимизации координат в окрестности оптимальной траектории (приближенный локально-оптимальный синтез по линейно-квадратичным критериям А.М. Летова – Р. Калмана и академика РАН А.А. Красовского). Для задач нелинейной динамики используются методы нелинейной оптимизации по градиентным схемам с подстройкой движения мехатронной системы под эталонную модель (П.Д. Крутько). Таким образом, в настоящее время математическая теория решения ОЗД хорошо развита.

Иначе дело обстоит с моделированием и машинным расчетом мехатронных систем с учетом упругости структуры их компонентов. Здесь для наиболее реалистичного описания геометрии и прочностных свойств совокупной мехатронной системы используются модели, ориентированные по форме (Б. Хайманн), формируемые в CAD- и FEM-программах (метод конечных элементов). Однако для решения задач управления упругими мехатронными системами метод конечных элементов не применим.

Более реалистичной представляется идея замены компонентов мехатронной системы с распределенными параметрами компонентами системы со сосредоточенными параметрами с учетом упругих колебаний относительно центра масс компонентов такой системы (теория обобщенных функций А.Н. Колмогорова), для которых при несущественных нелинейностях справедлив принцип суперпозиции движения объекта как абсолютно твердого тела (программное движение) и упругих колебаний относительно этого движения (колебательное движение).

В диссертационной работе мехатронные системы рассматриваются как сложные многомассовые объекты управления, в которых в режимах разгона, реверсирования и торможения исполнительных двигателей, а также при изменении нагрузки возникают интенсивные упругие колебательные движения подвижных звеньев, снижающие быстродействие, точность и надежность их работы. Поэтому при создании таких систем необходимо учитывать упругость звеньев механической конструкции и разработать способы компенсации колебательного движения. Решение этой проблемы осложняется разнородностью механических и электронных элементов, а также различным характером их взаимодействия, большим количеством управляемых координат, переменностью структуры и параметров исполнительных механизмов мехатронных систем.

Этим и определяется актуальность выбранной темы исследования.

Структура и содержание диссертации. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, приложения. Объем работы составляет 133 страницы, 52 рисунка и 2 таблицы.

Содержание диссертации отражает основные идеи работы и полученные в ней результаты, а также раскрывает её научную и практическую ценность.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, цель работы, приведены обзор литературы, апробация и основные результаты, выносимые на защиту.

В первой главе обосновывается необходимость учета упругости механической конструкции мехатронных систем как объектов управления, выполнен сравнительный анализ методов синтеза алгоритмов управления

колебательными движениями их исполнительных механизмов. Отмечается, что используемые методы синтеза недостаточно эффективны по качеству процессов управления и сложны в технической реализации. При этом недостаточно полно используются возможности внутрисистемных связей между электромеханической, информационной и компьютерными частями мехатронных систем. Для учета внутрисистемных связей автор предлагает применить метод обратных задач динамики и через варьирование свободных параметров осуществить структурно-параметрический синтез алгоритмов управления мехатронной системой. Этими положениями определяются основная цель и задачи исследований.

Во второй главе выбираются расчетные схемы и приводятся математические модели мехатронных систем с упругими звеньями, основанные на декомпозиции управляемого движения на программное и колебательное и учитывающие внутрисистемные взаимодействия их различных частей. Предлагаются критерии оценки эффективности алгоритмов управления в виде аналитических зависимостей, определяющих желаемый вид колебательного движения. На примере двухмассовой расчетной схемы приведена процедура структурно-параметрического синтеза алгоритма управления колебаниями мехатронной машины с упругими звеньями.

В третьей главе разработаны алгоритмы управления упругими колебаниями мехатронных систем на основе задания конечных и дифференциальных уравнений колебательных движений и проведен анализ их прямых показателей качества. Показано влияние динамических характеристик приводов на эффективность применения предложенных алгоритмов управления упругими колебаниями систем. Исследована возможность реализации предложенных алгоритмов управления упругими колебаниями в замкнутых системах управления. Разработаны алгоритмы и программа структурно-параметрического синтеза управления колебаниями мехатронных систем с упругими звеньями.

В четвертой главе на примере электромеханического робота «Электроника НЦТМ-01» с позиционной системой управления приводятся результаты исследований эффективности предложенной системы управления колебаниями. Методом пассивного эксперимента выполняется идентификация основных параметров математической модели робота, производится математическое моделирование алгоритмов управления колебаниями и обсуждаются полученные результаты.

В заключении работы приведены результаты, которые выносятся на защиту, а в приложении приведены акты об использовании разработанной

автором программы синтеза алгоритмов управления движением многомассовых мехатронных систем с учетом упругости исполнительных механизмов и свидетельство о ее государственной регистрации на ЭВМ.

Научная новизна. Полагаю, что теоретические результаты, которые изложены во второй и третьей главах являются новыми. С помощью метода разделения управляемого движения на программное и колебательное, и решения обратных задач динамики по заданному виду полученного колебательного движения, разработаны алгоритмы управления движением мехатронных систем с упругими звеньями, которые не зависят от структуры регулятора. Для этого предложены комплексные критерии эффективности систем управления движением в виде заданных интегральных кривых или дифференциальных уравнений колебательных движений, которые позволяют учесть все основные показатели качества переходных процессов. Рассмотрена процедура пересчета полученных временных зависимостей для управляющих воздействий в функции фазовых координат с переменными коэффициентами усиления для задачи структурно-параметрического синтеза замкнутых систем управления. Результаты исследований являются **достоверными и обоснованными**: доказана их сходимость к точному решению, получена оценка скорости сходимости вычислительных процедур, в пространстве параметров выделены области устойчивости характеристических полиномов до четвертого порядка включительно. Многочисленные расчеты хорошо согласуются с теоретическими выкладками.

Практическая значимость диссертации обоснована тем, что:

1. Предложенные алгоритмы управления движением мехатронных систем с упругими звеньями позволяют до 1,5 раз снизить интенсивность и продолжительность колебательных движений исполнительных механизмов в переходных режимах работы по сравнению с традиционными способами управления.

2. Эффективность предлагаемых алгоритмов управления колебаниями мехатронных систем с учетом упругости звеньев подтверждена результатами численного моделирования процессов управления на серийной модели электромеханического промышленного робота «Электроника НЦТМ-01».

3. Предложенные алгоритмы и программы управления колебаниями мехатронных систем с упругими звеньями прошли апробацию и используются в учебном процессе Братского государственного университета на кафедре «Управление в технических системах» и Иркутского национального исследовательского технического университета для подготовки специалистов и бакалавров на кафедрах «Соппротивление

материалов и строительной механики» и «Строительные, дорожные машины и гидравлические системы».

Замечания и пожелания.

1. Из текста диссертации и содержания автореферата не совсем понятно, что автор подразумевает под программным движением мехатронной системы: или это движение по заданной программе (разомкнутое управление) или управляемое движение с помощью промышленных ПИД-регуляторов с обратной связью?

2. Известно [П.Д. Крутько], что слабая чувствительность (инвариантность) к параметрическим и координатным возмущениям по методу обратных задач динамики (ОЗД) достигается при достаточно больших коэффициентах усиления в цепи обратной связи системы управления. В диссертации этот факт декларируется [стр. 9 диссертации и стр. 4 автореферата], но не подтверждается результатами исследований при случайных и параметрических помехах.

3. Отсутствует сравнительный анализ показателей эффективности предлагаемых алгоритмов структурно-параметрического синтеза на основе конечных уравнений, эталонных моделей (ПДД-регуляторов), заданных передаточных функций (корректирующих устройств), на основе интегральных уравнений Вольтерра II рода и метода обратных дифференциальных уравнений Н.П. Еругина, а также аналитического конструирования оптимальных регуляторов (АКОР) в постановке Летова-Калмана. Спрашивается, какой из предлагаемых алгоритмов управления на практике наиболее эффективен?

4. При применении метода ОЗД используются прямые (временные и частотные) показатели качества: время нарастания сигнала, время регулирования, перерегулирование, полоса пропускания, степень колебательности и др. Поэтому не совсем ясно, почему автор в качестве комплексного критерия эффективности выбирает только один показатель – натуральный логарифм от степени колебательности – декремент затухания упругих колебаний?

5. Не ясно, из каких соображений выбраны конечные уравнения колебательных движений (2.3) и (2.4) (стр. 41 диссертации) и в чем их перспективность по сравнению с заданием желаемых передаточных функций и эталонных моделей.

6. При построении моделей управления учитывается только инерционность электропривода, но не исследуется влияние высших (нечетных) гармоник упругих колебаний, нелинейностей типа гистерезиса, зоны нечувствительности с насыщением, транспортного запаздывания,

которые имеют место в реальной мехатронной системе и могут привести к потере ее устойчивости.

7. Автор допустил ряд математических неточностей, грамматических, синтаксических и стилистических ошибок. Например:

а. По тексту диссертации буквой C обозначены конструктивная постоянная электродвигателя (формула (2.2) на стр. 39 диссертации и формула (2) автореферата на стр. 7), константы в конечных уравнениях упругих колебаний (формулы (2.3) и (2.4) на стр. 40 диссертации и формула (3) на стр. 7 автореферата) и матрица констант в формуле (3.1) на стр. 58 диссертации и в формуле (6) на стр. 9 автореферата, причем элементы этой матрицы c_i по обозначению совпадают с обозначением коэффициентов жесткости многомассовой мехатронной системы в тех же формулах;

б. На стр.13 (5-я строка сверху) написано: "...механическое устройство представляет собой многозвенный", следует писать: "...механическое устройство, которое представляет собой многозвенный механизм"; на стр. 28 написано: "...движением материальных систем", следует писать: "...движением оптимальных систем "; на стр.73 написано: "другим способом, основанным", следует писать: " другой способ, основанный ";

в. В ряде случаев отсутствуют точки и запятые, например: на стр.12, строка 9 главы 1; на стр. 13, 8-я строка сверху; на стр.37 в предпоследних двух строчках запятые следует убрать и т.д.

Однако число этих погрешностей не выходит за рамки разумного.

Основные результаты опубликованы в 13 работах, 4 из которых входят в список журналов, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Считаю, что диссертация удовлетворяет паспорту специальности 05.13.01.«Системный анализ, управление и обработка информации (региональные народнохозяйственные комплексы)», а именно:

п. 4 «Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации»;

п. 5 «Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации»;

п. 7 «Методы и алгоритмы структурно-параметрического синтеза и идентификации сложных систем».

Диссертация соответствует требованиям Постановления правительства РФ от 24.09.2013 № 842 "О порядке присуждения ученых степеней", включая

оценку соответствия п.9. Она представляет собой законченную научно-квалификационную работу, вносящей заметный вклад в область создания эффективных алгоритмов управления движением упругих мехатронных систем на основе решения обратных задач динамики.

Полагаю, что диссертационная работа Ле Ба Ханя является законченной научно-исследовательской работой, в которой решены актуальные задачи, соответствует требованиям ВАК РФ к кандидатским диссертациям по специальности 05.13.01.«Системный анализ, управление и обработка информации (региональные народнохозяйственные комплексы)», а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент:

профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов»
ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения»,

д.т.н., доцент Сизых Виктор Николаевич

Домашний адрес: 664009, г. Иркутск, ул. Советская, 176/197, кв. 1.

Телефон: д.т. 83952535767, с.т. 89148830351.

E-mail: sizykh_vn@mail.ru.