

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Емельяновой Татьяны Алексеевны «Параметрический синтез многоконтурных систем автоматического управления», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления»

Актуальность темы диссертации

Многоконтурные системы автоматического управления (САУ) позволяют достигать высоких показателей точности и качества управления. Однако расчет таких систем встречает трудности, обусловленные их структурной сложностью. Переход от одноконтурных систем автоматического управления к многоконтурным САУ сопровождается принципиальным усложнением математических моделей этих систем. В частности, основная задача проектирования – синтез регуляторов – переходит из класса линейных задач к нелинейным со всеми вытекающими отсюда сложностями.

Несмотря на то, что исследования в данной области проводятся давно, и к настоящему времени разработан широкий арсенал специальных методов параметрического синтеза, позволяющих эффективно решать практические задачи, развитие и совершенствование существующих подходов в целях повышения показателей качества управления и получения заданных свойств САУ по-прежнему остается актуальной задачей.

В диссертации Емельяновой Т.А. рассматриваются пути решения такой задачи. Особенность представленной диссертационной работы состоит в том то, что акцент делается на двух взаимосвязанных задачах:

- получение уравнений параметрического синтеза многоконтурных систем автоматического управления на базе вещественного интерполяционного метода, выбранного в качестве теоретической основы;
- численное решение уравнений синтеза в условиях машинной арифметики конечной точности, плохой обусловленности задачи и специфики объекта управления.

Таким образом, тема диссертационной работы Т.А. Емельяновой является актуальной и практически значимой.

Оценка содержания работы

Во **введении** обосновывается актуальность работы, определяются цели исследования, ставятся основные задачи, раскрывается научная новизна и значимость полученных результатов, а также формулируются положения и результаты, выносимые на защиту.

В первой главе рассматривается математическая постановка задачи синтеза регуляторов многоконтурных систем автоматического управления. Получено уравнение синтеза, которое относится к классу нелинейных и

плохо обусловленных задач, что определяет принципиальные сложности его решения. В качестве базы предлагаемого метода параметрического синтеза выбран вещественный интерполяционный метод. Проведен обзор численных методов решения систем нелинейных уравнений и выбран алгоритм численного решения уравнений синтеза, основанный на методе Ньютона.

Во второй главе проведено исследование возможностей вещественного интерполяционного метода при решении задач параметрического синтеза систем автоматического управления различных классов, в том числе многоконтурных.

Выполнено исследование обусловленности уравнений синтеза многоконтурных САУ и проведен анализ сходимости метода Ньютона при решении уравнений синтеза. В качестве примеров рассматриваются системы с транспортным запаздыванием, распределенными параметрами и системы, относящиеся к классу «неминимально-фазовых». Установлено, что такие особенности систем управления приводят к ухудшению обусловленности уравнения синтеза и создают дополнительные трудности в поиске решения задачи. Обсуждаются возможности и ограничения предложенного метода параметрического синтеза многоконтурных САУ, основанного на вещественном интерполяционном методе, а также пути улучшения обусловленности уравнений синтеза и сходимости численного алгоритма поиска решений задачи. Сделан вывод о том, что таким подходом может быть регуляризация уравнений синтеза.

В третьей главе исследованы возможности улучшения метода параметрического синтеза многоконтурных САУ за счет регуляризации уравнения синтеза. Показано, что принятая в работе классическая регуляризация по Тихонову позволяет примерно вдвое увеличить число вычисляемых коэффициентов регуляторов. Этот результат является важным как для теории, так и для практики.

В четвертой главе решение уравнений параметрического синтеза многоконтурных систем автоматического управления сводится к задаче условной минимизации функции с ограничениями типа неравенств. В диссертации такой метод назван «модификацией вещественного интерполяционного метода на основе нелинейного программирования».

Установлено, что предложенный метод обладает регуляризирующим свойством и по эффективности близок к методу Тихонова.

В пятой главе диссертационной работы приводятся результаты практического применения предложенных методов параметрического синтеза многоконтурных САУ. В качестве приложения рассмотрена задача параметрического синтеза двухконтурной системы управления температурой водяной рубашки реактора, предназначенного для изготовления термостойкого пластика. На примере этой задачи продемонстрированы работоспособность и эффективность предложенных решений задач диссертационного исследования.

Основные результаты и выводы диссертационной работы представлены в заключении.

В приложении приведены акты о внедрении результатов диссертационной работы.

Новизна научных результатов диссертационной работы, на мой взгляд, состоит в следующем:

1) Предложен подход к параметрическому синтезу многоконтурных систем автоматического управления, основанный на вещественном интерполяционном методе, и алгоритмы численного решения уравнений параметрического синтеза в условиях плохой обусловленности задачи и специфики объекта управления.

2) Предложен способ улучшения обусловленности уравнений параметрического синтеза на основе регуляризации по Тихонову, позволивший примерно вдвое увеличить число вычисляемых коэффициентов регуляторов САУ.

3) Исследованы возможности модифицированного вещественного интерполяционного метода, основанного на сведении задачи решения уравнений синтеза к задаче условной минимизации. Установлено, что предложенный модифицированный метод обладает регуляризирующим свойством и по эффективности близок к методу Тихонова.

Научно-практическая значимость работы состоит в разработке метода получения уравнений параметрического синтеза многоконтурных систем автоматического управления, основанного на вещественном интерполяционном методе, и алгоритмов численного решения уравнений синтеза в условиях машинной арифметики конечной точности и плохой обусловленности задачи, а также в разработке прикладных программ. Результаты работы позволяют решать задачи параметрического синтеза не только многоконтурных САУ, но и широкого класса одноконтурных систем, например, систем с транспортным запаздыванием, распределенными параметрами и «неминимально-фазовых» систем.

Теоретическая ценность работы состоит в том, что предложенный численно-аналитический метод синтеза регуляторов многоконтурных САУ в сочетании со средствами регуляризации уравнений синтеза позволяет повысить размерность вектора неизвестных коэффициентов, а также обеспечить заданный уровень робастности системы по перерегулированию. Последнее обеспечивает работу САУ с заданными показателями качества и точности в условиях изменений в определенных пределах значений параметров объекта управления.

Практическая ценность полученных результатов состоит в том, что предложенный метод хорошо сочетается с существующими методами синтеза САУ. Использование разработанного метода предполагает реализацию двухэтапной процедуры. На первом этапе, как это рекомендовано в работе, известными методами получают приближенное решение, которое затем уточняется предложенным методом в отношении наиболее важных коэффициентов регуляторов.

Применение результатов диссертации ориентировано, во-первых, на научные организации, сферой деятельности которых является создание электромеханических систем автоматического управления, которые составляют порядка до 90% общего числа САУ.

Во-вторых, предложенный метод в виде специализированного программного обеспечения будет полезен для настройки регуляторов эксплуатируемых в настоящее время многоконтурных систем. Речь идет о двух-трех варьируемых коэффициентах регуляторов, которые должны парировать изменения одного-двух параметров объекта управления.

Результаты диссертационной работы могут быть рекомендованы к внедрению в учебный процесс в вузах, ведущих подготовку специалистов по направлениям «Информатика и вычислительная техника», «Автоматизация технологических процессов и производств», «Мехатроника и робототехника», «Управление в технических системах».

Степень обоснованности, достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы основываются на применении хорошо апробированных математических и численных методов, тщательном тестировании предложенных алгоритмов, а также результатами компьютерного моделирования, сравнительным анализом полученных результатов и сопоставлением их с известными результатами ранее проводившихся исследований.

Пункты научной новизны, практической ценности работы выглядят хорошо аргументированными, подтверждаются апробацией результатов исследований на отечественных и международных научных конференциях, а также публикациями в рецензируемых научных журналах.

Замечания по диссертационной работе

1. Неясно, почему выбран стандартный метод Ньютона (глава 1) в качестве численной основы решения задачи синтеза. Существует более эффективные алгоритмы, так называемые «глобально-сходящиеся» модификации метода Ньютона. Основная идея таких методов состоит в том, что обязательно на каждой итерации проверяется ньютонковский шаг с предварительным контролем вырожденности и числа обусловленности матрицы Якоби. Если шаг неудовлетворительный, то прибегают к глобальной стратегии, обеспечивающей уменьшение меры близости к решению. Такая стратегия может заключаться, например, в дроблении шага вдоль ньютонковского направления.

2. Автор часто употребляет термин «Якобиан» для матрицы Якоби. Однако этот термин в русскоязычной математической литературе имеет другое значение: «Якобиан» – это определитель матрицы Якоби. В англоязычной литературе матрицу Якоби называют «Jacobian (Якобиан)». Хотя сейчас англоязычный термин активно внедряется в русскоязычную

математическую литературу. Матрица Якоби – это матрица частных производных первого порядка. В диссертации вместо частной производной записана полная производная, что неверно (см., например, стр. 84, 101, 109).

3. Не могу согласиться с выводами по поводу сходимости метода Ньютона. Это же относится к оценке «области» сходимости (вывод о том, что область сходимости расширена в 10 раз, стр. 112). Можно говорить только о косвенных признаках улучшения сходимости, но не об области сходимости. С другой стороны, нигде не нашел, как выбирается критерий останова или расходимости того или иного алгоритма. Важно помнить, что выбор критерия останова – задача непростая.

4. В четвертой главе задача решения уравнений параметрического синтеза сводится к задаче условной минимизации с ограничениями типа неравенств. Автор не объясняет, каким методом в MATLAB или EXCEL решается задача условной минимизации. Кроме того, важно помнить о том, что любое решение системы нелинейных уравнений является решением соответствующей задачи минимизации. Но целевая функция может иметь локальные минимумы, которые не являются решениями исходной системы уравнений. Поэтому интерпретация результатов, приведенных в табл. 4.1, не совсем корректна.

5. Автор нигде не объясняет, как оценивается число обусловленности (2-5 главы). Считается ненадежным оценивать число обусловленности, используя определение (см. стр.58). Проблема состоит в том, что вычисление числа обусловленности включает операцию обращения матрицы. Поэтому на практике используются другие методы оценки числа обусловленности (например, на базе QR-разложения), не требующие вычисления обратной матрицы.

6. Откуда следует, что в системе управления температурой водяной рубашки реактора существует только устойчивое состояние равновесия (рис.5.5 и рис.5.6)? На мой взгляд, при вариации параметров реактора или системы управления возможно возникновение колебательных режимов, например, устойчивого предельного цикла (жестко или мягко) из теряющего устойчивость состояния равновесия через суб- или суперкритическую бифуркацию Андронова-Хопфа. Неясно, оценивался ли запас устойчивости рабочего режима синтезированной системы.

Однако, отмеченные недостатки не снижают общей положительной оценки диссертационной работы Т.А. Емельяновой.

Заключение

Диссертационная работа Емельяновой Татьяны Алексеевны представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему, отличается научной новизной и практической значимостью полученных результатов. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления» (пункты 1–4).

По результатам проведенных исследований опубликовано 11 работ, включая 6 статей в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ для опубликования основных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук, среди них – 4 статьи в изданиях, индексируемых в международной базе цитирования Scopus. Работа прошла хорошую апробацию на отечественных и международных научных конференциях. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.



На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что диссертационная работа Емельяновой Татьяны Алексеевны вносит заметный вклад в развитие методов параметрического синтеза многоконтурных систем автоматического управления. Работа удовлетворяет требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года, № 842, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а Т.А. Емельянова заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности по 05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления».

Официальный оппонент,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры вычислительной техники
Юго-Западного государственного
университета

 Ж.Т. Жусубалиев
15.05.2019

Почтовый адрес: 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, д. 94,
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ), кафедра вычислительной техники,
Жусубалиев Жаныбай Турсунбаевич.
Тел.: 8 (4712) 22-26-65
E-mail: zhanybai@gmail.com





15.05.2019