

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу 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»

1. Актуальность темы

Системы автоматического управления (САУ) характеризуются обширным разнообразием в зависимости от свойств объектов управления, а также структурными особенностями, которые во многом зависят от предписанных функций и точности их исполнения. Одной из наиболее эффективных мер, обеспечивающих высокие показатели качества и точности САУ, является применение сложных структур управления, в частности, многоконтурных, которые позволяют использовать несколько управляющих устройств - регуляторов. Однако расчет таких систем по сравнению с одноконтурными САУ встречает принципиальные трудности, вытекающие из нелинейного характера взаимосвязей между параметрами управляющих устройств, подлежащих определению. Для устранения этого препятствия в настоящее время широко применяется приближенный метод расчета, основанный на последовательном расчете контуров, начиная с внутреннего. Такой прием сводит нелинейное уравнение синтеза к линейной постановке, но у него есть крупный недостаток – он является приближенным, и следовательно, влечет за собой появление дополнительной погрешности. В диссертационной работе ставится задача устранения указанной погрешности, что позволяет повысить точность расчета и работы САУ, а саму задачу считать актуальной.

2. Новизна научных результатов

Она определена тем, что автором диссертации предложен прямой путь синтеза многоконтурных САУ в форме решения исходного нелинейного уравнения. Предложение обосновано, для него в результате анализа возможных путей решения нелинейного уравнения выбрано численное направление, а также метод, который позволил конструктивно сочетать преимущества преобразования Лапласа и численных методов расчета линеаризованных динамических систем управления.

3. Теоретическая и практическая ценность работы

Основная теоретическая ценность работы состоит в том, что показан и апробирован путь формирования уравнения синтеза регуляторов многоконтурных САУ на основе вещественных функций, предложен вариант численного его решения. Установлены также трудности этого пути, связанные с плохой обусловленностью уравнения. предложены способы его регуляризации по методу Тихонова и нелинейного программирования с ограничениями типа неравенств. В отношении второго способа регуляризации следует подчеркнуть, что он является оригинальным и перспективным для задач синтеза САУ. Есть еще одна положительная сторона этого подхода - он позволяет учитывать априорную информацию о значениях коэффициентов ре-

ный опыт расчета САУ, что дополнительно может приводить к снижению объема вычислительных операций.

Практическая ценность работы заключается в том, что получение результатов, открывают численный путь синтеза регуляторов многоконтурных САУ, который естественным образом сочетается с основным для сегодняшнего времени методом последовательного расчета регуляторов систем рассматриваемого класса. Предложено использовать двухэтапную процедуру синтеза: на первом этапе используется традиционный последовательный синтез, на втором осуществляется уточнение результатов с помощью разработанного метода. Имеется еще одно направление в практическом использовании предложенного метода синтеза. Оно связано с рекомендацией автора использовать разработанный метод при построении самонастраивающихся регуляторов многоконтурных САУ, в которых подстройке подлежит небольшое число коэффициентов.

4. Степень достоверности и обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность и обоснованность результатов диссертации подтверждается квалифицированным применением выбранных методов, адекватностью используемых математических моделей, результатами компьютерного моделирования, сравнительным анализом полученных результатов, а также сопоставлением их с известными результатами.

5. Апробация

Основные результаты работы опубликованы в 11 печатных и электронных работах, из них 6 статей, 4 из которых в изданиях, входящих в международную базу цитирования Scopus, две – в изданиях, рекомендованном ВАК РФ, имеется 5 публикаций в материалах конференций.

6. Структура и содержание работы.

Диссертация состоит из введения, 5-и глав, заключения, списка литературы из 116 наименований. Общий объем диссертации составляет 159 страницы машинописного текста, из них 12 страниц списка литературы, 2 страницы – приложения. Основная часть диссертации иллюстрируется 27 рисунками и 18 таблицами.

Во введении обосновывается актуальность проблемы, ставится цель исследований, формируются задачи диссертационной работы, приводятся краткие комментарии к содержанию диссертации и сведения об апробации, публикациях и практическом использовании результатов проведенных научных исследований.

В первой главе рассмотрены особенности синтеза многоконтурных САУ в параметрической постановке. Получено уравнение синтеза, рассмотрены возможные пути его решения. По этим результатам выбрано оригинальное для синтеза многоконтурных систем направление – численное решение уравнение синтеза. Имеется достаточно веские аргументы, подтверждающие правомерность такого выбора. Во-первых, это обширная библиотека хорошо разработанных численных методов решения разнообразных уравнений динамики технических систем. Во-вторых, развивающаяся высокими темпами цифровая вычислительная техника, позволяющая

ния разнообразных уравнений динамики технических систем. Во-вторых, развивающаяся высокими темпами цифровая вычислительная техника, позволяющая успешно решать сложные задачи. Такой симбиоз позволяет надеяться на эффективность выбранного направления и его перспективность в получении ожидаемых результатов, а также расширение его применения в области автоматического управления.

В качестве основного численного метода выбран вещественный интерполяционный метод (ВИМ), известный по его использованию для расчета одноконтурных САУ, в том числе для особых объектов - с распространенными параметрами и запаздыванием. Это обстоятельство также свидетельствует об обоснованности принятого автором решения.

Во второй главе проведено исследование возможностей выбранного численного метода в условиях решения задач параметрического синтеза САУ различных классов, в том числе многоконтурных. С этой целью исходное нелинейное уравнение синтеза на базе изображений по Лапласу переводится в вещественную форму, разворачивается в систему нелинейных уравнений с вещественными переменными, размерность которой определена числом неизвестных коэффициентов регуляторов. Такая последовательность действий и конечная форма теоретически создают условия для получения значений неизвестных коэффициентов. Однако на практике, несмотря на очевидные преимущества моделей в виде вещественных описаний и численных действий над ними, существуют трудности их практического применения. Они вытекают прежде всего из известных особенностей некорректных задач, в число которых входят задачи синтеза регуляторов САУ. По этой причине рассматриваемый путь осложнен не только нелинейным сочетанием искоемых коэффициентов, но и некорректностью задачи. Для исследования последнего фактора в работе выполнены подробное рассмотрение обусловленности уравнений синтеза в зависимости от свойств объектов управления и классов САУ, включая многоконтурные. Установлено, что такое влияние не только резко усугубляет трудности решения задач синтеза принятым методом, но и снижает его возможности.

В третьей главе рассмотрены возможности улучшения предложенного численного метода синтеза многоконтурных САУ за счет его регуляризации по Тихонову. Отмечено, что в целом эта задача относится к числу некорректных, а в случае многоконтурных систем явление некорректности значительно усиливается за счет появления нелинейных связей определяемых коэффициентов. В работе показано, что метода Ньютона, использованный в работе для решения систем нелинейных уравнений, приводит при формировании матрицы Якоби, к ее плохой обусловленности, что в свою очередь ограничивает число определяемых коэффициентов на уровне двух-трех. Такой результат не имеет для практики существенного значения. Поэтому применение регуляризации должно ослабить влияние некорректности в виде улучшения обусловленности матриц Якоби. Эксперименты показали справедливость принятой меры, которая позволила увеличить размерность вектора неизвестных коэффициентов вдвое, что имеет существенное практическое значение. В работе отмечается, что регуляризация не только улучшила обусловленность уравнения

В четвертой главе продолжен поиск путей и способов увеличения числа неизвестных коэффициентов регуляторов САУ, который, начат в третьей главе. Автор диссертации, основываясь на известных рекомендациях о целесообразности использования априорных сведений о свойствах регуляторов, в частности, о значениях их коэффициентов, приходит к выводу о возможном положительном результате применения ограничений, накладываемых на коэффициенты. Естественный математический аппарат для реализации этой цели – метод нелинейного программирования, который хорошо разработан и доведен до стандартных программ. Исследование возможностей нелинейного программирования в решении рассматриваемой задачи показало, что использование метода позволяет успешно синтезировать системы управления, если число неизвестных параметров не превышает четырех, хотя нужно заметить, что этот вывод относится только к тестовым примерам диссертации.

В пятой главе разработанный подход был использован для построения системы управления температурой водяной рубашки реактора, предназначенного для изготовления термостойкого пластика. В рамках задачи синтеза этой двухконтурной САУ было составлено уравнение синтеза, найдены коэффициенты регуляторов тремя рассмотренными в работе методами – численно-аналитическим и двумя на основе нелинейного программирования. Результаты оказались близкими, что подтверждает работоспособность предложений автора.

В Заключении приведены основные выводы по работе и ее результаты.

На основании изложенного считаю, что анализ современного состояния проблемы синтеза многоконтурных САУ, формулировка цели и постановка задач исследования, выбор подхода, применение современных аналитических, численных и экспериментальных методов исследования обеспечивают обоснованность результатов и научных положений и выводов. Работа имеет внутреннее единство, она является завершенной научно-квалификационной работой. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

7.Замечания по работе

1. Метод последовательного синтеза регуляторов контуров САУ, широко применяемый на практике, позволяет задавать показатели качества – перерегулирование и быстродействие, что дает возможность частично учитывать физические особенности контуров, например, в случае электромеханических систем максимальное значение тока в якорной цепи, максимальную скорость вращения якоря и другие. Предложенный метод, обеспечивающий повышенную точность по сравнению с аналогом, видимо, не позволяет использовать отмеченные его возможности, но ответ на этот вопрос в работе не содержится.

2. В диссертации не указан алгоритм получения чисел обусловленности, хотя от него могут зависеть конечные результаты и выводы на их основе.

3. При рассмотрении задач синтеза САУ принято оценивать свойство робастности создаваемых систем, которое во многом определяет их работоспособность. Известно, например, что улучшить быстродействие системы или снизить перерегулирование можно за счет ухудшения робастности. Поэтому без оценок робастности воспринимать в полной мере результаты синтеза затруднительно. Этот вопрос в работе рассмотрен недостаточно.

4. В работе используется равномерная интерполяция, хотя на стр. 53 работы упомянуто, что применение неравномерных законов распределения узлов имеет преимущества по точности. Для тестовых примеров, которые исследуются для получения оценок обусловленности, применение постоянного шага оправдано простотой вычислений. Однако в задаче синтеза САУ производства термостойкого пластика, рассматриваемой в пятой главе, требуется обеспечить максимальную точность, для чего следует использовать интерполяцию с неравномерным шагом, что не сделано.

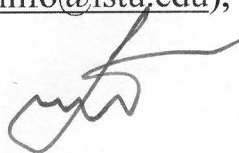
8. Заключение

Сделанные замечания в целом не снижают положительного впечатления от диссертационной работы и существенного вклада в решение важной научно-практической задачи по означенной теме.

Диссертационная работа Емельяновой Т. А. «Параметрический синтез многоконтурных систем автоматического управления» является завершенной научно-исследовательской работой, посвященной решению задачи синтеза многоконтурных систем автоматического управления. Работа соответствует специальности 05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления» а также пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автор диссертации Емельянова Татьяна Алексеевна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления».

Официальный оппонент
профессор кафедры
«Автоматизированные системы»
ФГБОУ ВПО "Иркутский национальный
исследовательский технический университет"
(664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83
тел.: 8(3952)405-100, e-mail: info@istu.edu),

д.т.н., профессор



Н.Н. Куцкий

17 мая 2019

