

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, профессора
Малышенко Александра Максимовича

на диссертационную работу Шипагина Виктора Игоревича по теме:
«Нейросетевая реализация полиномиального метода синтеза регуляторов
с детерминированным способом выбора архитектуры и инициализации
весовых коэффициентов», представленную на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности 2.3.1– Системный анализ,
управление и обработка информации, статистика

Объем и структура диссертации

Диссертация оформлена на 169 страницах, включает 74 рисунка, две таблицы, содержит введение, четыре главы, заключение, перечень сокращений и условных обозначений, а также список литературы из 207 наименований и четыре приложения, в том числе в одном из них 4 акта внедрения.

Актуальность тематики диссертационных исследований

Прежде чем оценивать актуальность тематики диссертационных исследований соискателя, хочу указать на некорректность, по моему мнению, использованного им названия диссертации. Её направленность не на нейросетевую реализацию полиномиального метода синтеза регуляторов, а на такую реализацию регуляторов, синтезированных указанным методом.

Для многих современных подлежащих автоматическому управлению объектов характерна многомерность набора (вектора) одновременно управляемых переменных, нелинейность, сложность внутренних вход-выходных связей, в том числе наличие перекрестных связей между отдельными сепаратными каналами управления. Все это существенно усложняет решение задач синтеза и практической реализации регуляторов для объектов подобного типа.

Используемые при синтезе регуляторов для указанного типа объектов управления (ОУ) подходы, предусматривающие вначале синтез регуляторов для сепаратных каналов управления с помощью уже широко применяемых методов синтеза (алгебраических и/или частотных), последующее моделирование с использованием программных комплексов, в частности, Matlab+Simulink, и доводка точностных и динамических свойств у синтезируемых систем автоматического управления (САУ) до требуемых фактически методом проб и ошибок, вряд ли можно признать вполне удовлетворяющими разработчиков САУ.

Привлекательны и перспективны в этом плане алгебраические методы синтеза регуляторов, ориентированные на синтез для многомерных по входам и/или выходам ОУ многомерных соответствующих размерностей регуляторов. К таким методам синтеза в полной мере относится активно разрабатываемый за рубежом и в России полиномиальный метод синтеза

регуляторов, который использовал и частично развил своими диссертационными исследованиями В. И. Шипагин.

Перспективным и практически вполне осуществимым подходом в реализации регуляторов является их исполнение с использованием нейронных сетей. Поэтому разработка алгоритмов синтеза нейрорегуляторов, в том числе по уже определенным матрицам передаточных функций регуляторов для синтезируемых САУ, а также детерминированных методов выбора архитектуры и инициализации весовых коэффициентов нейрорегуляторов, демонстрация их реализуемости и эффективности также относятся к актуальным ныне задачам для теории и практики автоматического управления.

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

Обоснованность сформулированных в диссертации научных положений, выводов и рекомендаций базируется на их корректной теоретической разработке, проводимых математических преобразованиях с использованием уже известных и широко применяемых на практике математических методов анализа и синтеза регуляторов и систем автоматического управления, а также их проверкой на приведенных примерах практического применения для нескольких типов объектов управления, сопоставительном анализе эффективности синтезированных полиномиальным методом аналоговых, цифровых регуляторов и синтезируемых на их основе нейрорегуляторов. Выводы и практические рекомендации логично вытекают из полученных результатов и соответствуют поставленным в работе цели и задачам.

Научная новизна результатов исследований и их достоверность

При решении поставленных задач для достижения цели диссертационных исследований соискателем были получены результаты, имеющие научную новизну. Перечислю наиболее значимые из них.

1. Модификации полиномиального метода синтеза регуляторов, ориентированные на определение их матричных передаточных функций для объектов управления с числом управляющих воздействий меньшим чем число их управляемых выходных переменных по их линеаризованным моделям, в том числе с учетом звеньев чистого запаздывания в объектах, и гарантирующие устойчивость реализуемых с синтезированными регуляторами САУ как минимум «в малом» с такими моделями у объектов управления.

2. Предложенный метод формирования по заданной матричной передаточной функции $W_r(z)$ регулятора, полученной с использованием дискретного z -преобразования, исходной архитектуры нейросетевого регулятора и инициализации его начальных весовых коэффициентов. Его использование позволяет гарантировать устойчивость минимум «в малом» САУ с таким

образом сформированным нейрорегулятором без дополнительного его обучения и объектом, описываемым линеаризованной математической моделью, по которой была определена модальным методом матричная передаточная функция $W_r(z)$. Тем самым создаются удобные предпосылки для последующего обучения (если оно будет необходимо) используемого нейрорегулятора.

3. Предложенный диссертантом способ преобразования чаще всего получающегося при использовании предварительно определенной дискретной матрицы передаточных функций $W_r(z)$ нейросетевого регулятора рекуррентного типа в регулятор с нейронной сетью прямого распространения. Такое преобразование избавляет в последующем от известных проблем взрывного и угасающего градиента, возникающих при обучении нейросетевого регулятора рекуррентного типа методами, основанными на вычислении градиента и обратном распространении ошибки.

4. Разработанный метод формирования обучающей выборки для тренировки нейросети при обучении нейрорегулятора, основанный на поэтапном расширении диапазонов заданий для САУ до заданных значений управляемых переменных, позволяющий успешно обучить нейрорегулятор управлению объектом на каждом из этих этапов.

5. Метод модификации структуры нейрорегулятора с учетом нелинейного характера и неопределенностей в составе модели объекта управления, позволяющий преобразовывать структуру нейрорегулятора таким образом, чтобы он смог управлять объектом на основе модели с нелинейными параметрами в требуемом диапазоне возможных заданий системы и при этом полученный нейрорегулятор позволял обеспечить затухание переходных процессов системы еще до начала его обучения.

Достоверность полученных в диссертации научных результатов подтверждается их сопоставительным анализом с известными публикациями по этой тематике, использованием при их разработке известных математических методов и положений теории автоматического управления. Она подкрепляется их опубликованностью в рецензируемых научных изданиях, а также апробацией на 12 международных и российских научных конференциях.

Практическая значимость и реализация результатов исследований

Разработанный алгоритм синтеза нейрорегуляторов, предназначенных для управления многоканальными объектами, описываемыми нелинейными моделями, с учетом их нелинейностей, позволяет получить САУ с более высокими показателями качества переходных процессов по сравнению с САУ, использующими регуляторы, полученные по линеаризованным моделям объектов.

Результаты, полученные в диссертации при проведении теоретических и экспериментальных исследований, нашли применение при разработке автором следующих программ для ЭВМ:

1) программы для синтеза нейросетевого регулятора управления нелинейной моделью перевернутого маятника на тележке // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2021610428, 14.01.2021. Заявка № 2020667800 от 28.12.2020;

2) программы для расчета регулятора для объекта с запаздыванием // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2021681431, 10.12.2021. Заявка № 2021680525 от 21.12.2021;

3) программы для расчета регулятора полиномиальным матричным методом для двигателя постоянного тока с независимым возбуждением при существенном запаздывании управляющего сигнала // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023618298, 21.04.2023. Заявка № 2023616685 от 08.04.2023.

Результаты диссертационной работы использованы при расчете системы гироскопической стабилизации оптического устройства кругового обзора (АО «Новосибирский приборостроительный завод», г. Новосибирск), которая позволила повысить точность стабилизации линии визирования за счет учета нелинейных характеристик в подшипниках, а также при расчете САУ бетоносмесительного комплекса (АО «Культбытстрой», г. Красноярск), которая позволила уменьшить рывки при трогании и останове бетоносмесителя, повысить его износостойкость.

Результаты исследований диссертанта использованы в рамках учебного процесса на кафедре автоматики Новосибирского государственного технического университета по дисциплине «Многоканальные системы управления», а также на кафедре теплогазоснабжения и вентиляции Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета по дисциплине «Теплогазоснабжение», о чем имеются акты, размещенные в Приложении А.

Соответствие паспорту специальности 2.3.1

Диссертационная работа выполнена в соответствии с паспортом специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика:

1) по пункту 2: «Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта»;

2) по пункту 4: «Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта»;

3) по пункту 5: «Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта»;

4) по пункту 14: «Разработка принципиально новых методов анализа и синтеза элементов систем управления с целью улучшения их технических характеристик».

Соответствие диссертации критериям, установленным действующим Положением о порядке присуждения ученых степеней

Диссертационная работа Шипагина Виктора Игоревича «Нейросетевая реализация полиномиального метода синтеза регуляторов с детерминированным способом выбора архитектуры и инициализации весовых коэффициентов» является законченной научно-квалификационной работой, которая содержит новые научные результаты и положения, имеющие важное значение для развития теории и практики автоматического управления. Ей присуще внутреннее единство и акцентирование усилий на решение поставленных задач. Имеются результаты, обладающие научной новизной и практической ценностью.

Текст диссертации оформлен аккуратно, изложен грамотно и лаконично. Автореферат в достаточной мере адекватно отражает содержание диссертации.

Содержащиеся в диссертации результаты опубликованы в 30 печатных работах, в том числе в одной монографии, написанной в соавторстве с двумя коллегами. Основные полученные автором научные результаты опубликованы в 5 рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК по специальности 2.3.1, еще две – по смежным специальностям; 8 статей – в изданиях, проиндексированных в Scopus или Web of Science; 12 – в материалах сборников международных и всероссийских конференций. Кроме этого, диссертантом в соавторстве получено 3 указанных выше свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Замечания по диссертационной работе

Анализируемая диссертация подготовлена к защите соискателем ученой степени кандидата технических наук. В этой связи важны физические, технические и инженерные аспекты в её оценке. И именно с этих позиций по ней имеются следующие наиболее существенные замечания.

Основным объектом управления в приведенных в диссертации примерах применения разработанных автором методов синтеза регуляторов для оценки их эффективности является инверсный маятник на подвижном основании. По его представлению в диссертации имеются следующие замечания.

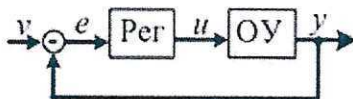
1. Этот объект управления представлен в слишком упрощенном виде. Он как бы летает под действием не известно каким образом создаваемой движущей силы (не оснащен движителями (например, колесами) и

связанным с ними приводным двигателем), нет необходимых в подобных объектах усилительно-преобразующих устройств для связи выхода регулятора с приводным двигателем, нет датчиков линейных перемещений основания и угловых поворотов маятника, которые необходимы для реализации САУ с синтезируемыми по разрабатываемым автором алгоритмам регуляторами. Столь же абстрактным является и объект управления, использованный в расчетном примере 1.2 на стр. 32.

2. Автор в своей квалификационной работе – диссертации фактически пренебрегает учетом размерностей ряда физических величин и параметров, входящих в используемые им математические модели объектов управления и их САУ. При этом нет указаний, что эти модели представлены с использованием относительных переменных и времени. И нет никаких других пояснений по этому поводу.

3. В расчетном примере 3.1 на стр. 68 с инверсным маятником на подвижном основании автор принимает массу маятника, равной 70 кг при его длине 1 метр, и массу основания – 30 кг. Но ведь при этом их веса при $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ (в земных условиях) равны соответственно 686,7 и 294,3 кг. Если принять круглое стержневое исполнение такого маятника из стали, то его диаметр будет равен 33 см. Если же маятник будет с вынесенным на стержне шаром и с таким же весом, то его диаметр будет порядка 55 см. С чем связано такое почти однотонное исполнение принятого в расчетах маятника на подвижном основании?

4. В приведенных в диссертации расчетных примерах структура синтезируемой системы с управлением по отклонению, в частности, для инверсного маятника на подвижном основании принята в виде, указанном на рис. 1.1.а (стр. 20 диссертации) и ниже.



Такое представление требует пояснения, что при этом понимается под объектом управления: только сам объект управления или же то, что принято называть «приведенным объектом управления» (ПОУ), т.е. ОУ и все то, что входит в состав его системы управления и связывает его в прямой цепи с устройством, формирующим лишь алгоритм управления (называемым часто, как и в диссертации, регулятором), а выходом ПОУ являются выходные сигналы датчиков управляемых переменных.

В анализируемой диссертации в САУ по рис. 1.1.а объект управления ОУ – это лишь инверсный маятник на подвижном основании с входным воздействием $u(t)$ – силой $F(t)$, прикладываемой к основанию вдоль направления его движения. При этом и выходным сигналом в синтезируемых диссертантом регуляторах является эта же сила, обозначенная как $u(t)$. Получается, что и

встраиваемые после обучения в прямой канал управления нейрорегуляторы должны создавать эту самую силу $F(t)$. Поэтому моделирование с синтезируемыми автором диссертации регуляторами систем автоматического управления без учета их фактического элементного состава не обеспечивает отражение реально протекающих в них процессов.

5. Результаты моделирования САУ инверсным маятником на подвижном основании с синтезированными диссертантом регуляторами в примерах 3.1, 3.3, 3.4, приведенные на рис. 3.5, 3.7, 3.14, 3.16, 3.17, 3.26, 3.27, указывают не только на затухание переходных процессов, но и на переход объекта управления в статический режим (основание переместилось на заданное расстояние и остается в нем, маятник (маятники) вертикальны). Но ведь такой статический режим неустойчив, так как при неподвижном основании нет его ускорений, которые и обеспечивают в САУ силы, удерживающие маятник вблизи вертикального положения. Возникает вопрос: почему при моделировании не выявлены такие колебательные движения в объекте управления?

6. В диссертации отсутствует пояснение, что при числе управляющих воздействий m в ОУ меньшем, чем число его управляемых выходных переменных p , минимум одна пара их этих выходных переменных будет находиться в связанном (взаимозависимом) управлении. И что именно по этой причине не так много реальных технических процессов и объектов, штатно работающих при $m < p$.

7. На стр. 96 «скороговоркой» пояснено устройство системы гироскопической стабилизации оптического устройства кругового обзора как объекта управления. Была бы кстати для этого кинематическая схема этой системы и тех систем, которые были объектами управления в примерах 4.1 и 4.2. Тогда более понятными бы были используемые диссертантом их модели.

Общее заключение

Диссертант показал свою хорошую осведомленность в проблематике и уже полученных научных результатах по синтезу непрерывных, дискретных регуляторов и реализуемых на нейронных сетях, о чем свидетельствует качественный обзор и использование в своей диссертационной работе 207 источников научной информации. Особо хочу отметить его знакомство и учет научных результатов в 28 кандидатских и докторских диссертациях, по близким или коррелированным в какой-либо части с им решаемыми задачами диссертационных исследований.

Полагаю, что заявленная цель диссертационного исследования – разработка алгоритма синтеза нейросетевых регуляторов с детерминированным способом выбора архитектуры и инициализации весовых коэффициентов для объектов управления, описываемых моделями, содержащими нелинейные характеристики, диссертантом достигнута.

Вызывает сожаление проявленное диссертантом недостаточное внимание к техническим и инженерным аспектам в приведенных расчетных примерах, которое снизило практическую ценность его диссертационных исследований. Но уверен, что публичная критика при защите диссертации его подхода к решению практических задач, сподвигнет диссертанта на последующую переориентацию в своих НИР на реальные практические задачи теории и практики автоматического управления.

Диссертация в основном отвечает требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., а её автор Шипагин Виктор Игоревич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Официальный оппонент

Профессор отделения автоматизации и робототехники федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», доктор технических наук, профессор, Заслуженный работник Высшей школы Российской Федерации

Малышенко Александр Максимович

19 февраля 2024 г.

«Я, Малышенко Александр Максимович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку».

Доктор технических наук, профессор

Малышенко Александр Максимович

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»
Почтовый адрес: 634050, Россия, г. Томск, проспект Ленина, д. 30.

Электронная почта: tam@tpu.ru

Контактный телефон: 8 (3822) 70-18-37.

**Подпись профессора отделения автоматизации и робототехники,
д.т.н., профессора Малышенко А. М. удостоверяю:**

Ученый секретарь Учено
Национального исследов
Томского политехническ

Е.А. Кулинич

Отзыв подписан
совет 26.02.2024 *В.И.М.*

с. у. в. о. м. ознакомлен
26.02.2024 *Алла В.*