

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Хапкина Д.Л.

на тему «**Прикладные методы синтеза нейросетевых регуляторов для объектов управления с ограничителями**», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

На сегодняшний день существуют не до конца формализованные вопросы в проектировании регуляторов для нелинейных систем в условиях неполной информации. Проектирование регуляторов для таких систем с адаптивным и близким к оптимальному по заданному критерию управлением побуждает к использованию громоздких и трудно реализуемых на практике алгоритмов, и методов. Перспективным подходом является синтез регулятора, основанного на искусственных нейронных сетях, способных к адаптации под объект управления на основе экспериментальных данных. Таким образом, **актуальной** задачей является разработка методов синтеза нейрорегуляторов для нелинейных объектов управления, решению которой посвящена диссертационная работа Хапкина Д.Л.

В представленном автореферате автором изложены не до конца формализованные стороны текущих методов синтеза нейрорегуляторов и предложены их модифицированные варианты для объектов с ограничителями. Сформулирован алгоритм формирования обучающей выборки нейроимитатора и нейрорегулятора для объектов с ограничителями. Также в работе предложен метод синтеза регулятора с гарантией устойчивости по Ляпунову и методика синтеза регулятора, оптимизирующая качество переходного процесса для объектов с ограничителями.

При прочтении автореферата хочется выделить четкую и развёрнутую формулировку цели и задач исследования, логичность и последовательность изложения материала, наглядность представления результатов исследования.

Научная новизна заключается в предложенном алгоритме выбора структуры нейрорегулятора, методах и методике его синтеза для объектов с ограничителями, гарантирующие устойчивость полученной замкнутой системы.

Достоверность и обоснованность полученных результатов подтверждается применением разработанных алгоритмов, методов и методик для синтеза регуляторов на тестовых объектах, содержащих ограничители. Проведены численные эксперименты, результаты которых подтверждают эффективность разработанных алгоритмов, методов и методик.

Апробация работы. По материалам работы автором лично и в соавторстве опубликовано 11 печатных работ, в том числе 3 в изданиях, рецензируемых Высшей аттестационной комиссией, 3 в изданиях, индексируемых в Scopus. Результаты проведённых исследований были представлены на 10 конференциях различного уровня.

В то же время по содержанию автореферата можно указать ряд **замечаний**.

1. К сожалению, не указаны пункты соответствия представленной диссертационной работы паспорту специальности (обычно во введении автореферата указывают пункты паспорта специальности, которым соответствуют положения, выносимые на защиту);

2. Разработанные методы синтеза нейрорегулятора для объекта с ограничителями довольно похожи между собой – не указано четкое различие между ними;

3. Наличие незначительных оформительских ошибок. К ним могут быть отнесены, например, следующие: отсутствуют подписи осей на рис. 10 – 12; присутствуют не поясненные обозначения на рис. 12 (стрелка «1» указывает на график, которого не видно на рисунке); имеются не поясненные аббревиатуры и обозначения («НС» на стр. 6, «LQR» на стр. 12); некоторые не общепринятые выражения не пояснены («полезный входной сигнал» на стр. 7);

4. Наличие незначительных смысловых ошибок. Так, например, на стр. 7 в выражении «коэффициенты числителя и знаменателя» корректней было бы использовать фразу «коэффициенты-полиномов знаменателя и числителя»; на стр. 12 написано «Схема обучения представлена на рис. 7.», однако в подписи к рис. 7 идет «Схема синтеза нейросетевого регулятора...»; на стр. 10 возможно неправильное толкование выражения «Метод синтеза нейрорегулятора на основе схемы обучения инверсного нейрорегулятора». Возможно корректнее было бы написать «Метод синтеза нейрорегулятора на основе схемы обучения «инверсное нейрорегулирование»».

Перечисленные недостатки, однако, не снижают положительного впечатления о работе. Суть исследования соответствует указанным целям и задачам и раскрыта в полном объеме. В рассмотренном автореферате представлена обоснованная методика синтеза нейрорегулятора для объектов с ограничителями, которая может применяться на практике.

Выводы. По итогам рассмотрения представленного автореферата можно сказать, что диссертационная работа Хапкина Дмитрия Леонидовича на тему «Прикладные методы синтеза нейросетевых регуляторов для объектов управления с ограничителями» является актуальной, с элементами научной новизны, ценная для практики и отвечает требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Хапкин Дмитрий Леонидович заслуживает присуждения искомой степени по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Отзыв составил:

Доктор технических наук, профессор,

профессор кафедры «Автоматика»

20.10.2023

 Воевода Александр Александрович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
Новосибирский государственный технический университет

Адрес: Россия, 630073, г. Новосибирск, проспект К. Маркса, 20

E-mail: voevoda@corp.nstu.ru

Тел.: (383)346-56-88

Подпись Воеводы А. А.

ЗАВЕРЯЮ





Густовалова



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
КБП КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ
им. академика А.Г.Шипунова

Россия, 300001, г.Тула, ул. Щегловская засека, д. 59. Телефон: +7 (4872) 410-068
Факс: +7 (4872) 426-139, 469-861. E-mail: info@kbptula.ru, www.kbptula.ru

№ _____

На № _____ от _____



УТВЕРЖДАЮ

Заместитель управляющего директора –
начальник конструкторского бюро, к.т.н.

С. Л. Погорельский

18.10.20

Отзыв

на автореферат диссертации Хапкина Дмитрия Леонидовича «Прикладные методы синтеза нейросетевых регуляторов для объектов управления с ограничителями», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

Изучение применения обучаемых алгоритмов в системах автоматического управления имеет важное теоретическое и практическое значение.

В диссертации Хапкина Д. Л. рассматривается задача обучения регулятора на основе искусственной нейронной сети для управления объектами с ограничителями. Актуальность темы диссертационной работы обусловлена тем, что применение нейрорегуляторов позволяет получить законы управления, соответствующие заданным требованиям качества для сложных нелинейных объектов управления, без необходимости ручного формирования точной математической модели.

Одной из существующих проблем нейросетевых регуляторов является отсутствие теоретических гарантий функционирования во всех режимах работы. Для решения этого в диссертации предложен метод, позволяющий синтезировать нейросетевой регулятор с гарантией устойчивости замкнутой системы в заданной локальной области фазового пространства.

Полученные в диссертации результаты имеют научную и практическую ценность.

Замечания:

1. В предложенных примерах не указан размер используемой обучающей выборки.
2. Недостатком описанного подхода может быть то, что он может потребовать большого количества вычислений для синтеза нейрорегулятора и функции Ляпунова, а также для решения задач смешанного целочисленного программирования. Это может ограничить применимость подхода для решения задач управления в реальном времени или для больших сложных систем. Таким образом, практическая применимость представляется сомнительной.

Анализ автореферата позволяет сделать заключение, что диссертация Хапкина Дмитрия Леонидовича удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Отзыв составил:

Начальник отделения,
кандидат технических наук
по специальности 20.02.14,
тел. +7 903 840 57 34

 09.10.2023 В. С. Фимушкин

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Хапкина Дмитрия Леонидовича «Прикладные методы синтеза нейросетевых регуляторов для объектов управления с ограничителями», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук

по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Диссертационная работа Хапкина Д.Л. посвящена разработке методов и алгоритмов синтеза гарантированно устойчивых систем управления с нейросетевыми регуляторами для объектов с ограничителями (содержащими существенные нелинейности). Тема исследования соответствует паспорту научной специальности 2.3.1, пункт 4. «Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта».

Нейронные сети – эффективный инструмент искусственного интеллекта, который успешно применяется в задачах управления линейными динамическими системами. Задача проектирования нейросетевых регуляторов для объектов, содержащих существенные негладкие нелинейности, а к ним относится большинство реальных объектов, не имеет исчерпывающего теоретического обоснования и привлекает внимание исследователей в настоящее время. В этом плане тема диссертации Хапкина Д.Л. является **актуальной**.

Автор рассматривает объекты с ограничителями. В работе ограничитель представляется динамической нелинейностью, вызывающей не только потерю гладкости траекторий системы, но и вызывающей разрывы фазовых траекторий. Для систем с ограничителями имеются частные результаты, касающиеся синтеза оптимального управления и расчёта релейных автоколебательных систем. Но результатов, имеющих определенную степень общности для классов нелинейных систем, не существует. Использование цифровых регуляторов ещё больше осложняет ситуацию. Это обстоятельство позволяет считать представленную работу, которая посвящена исследованию систем с насыщением не только актуальной, но и представляющей прикладной научный интерес, то есть имеющей **практическую полезность**.

Нейросетевой регулятор с математической точки зрения представляет собой сложную нелинейную функцию состояния, поэтому анализ устойчивости такой системы аналитическими методами затруднительно. Автор предлагает для оценки устойчивости использовать нейросеть в качестве функции Ляпунова. Этот подход представляется **новым** и перспективным.

В работе приводятся **новые** методики выбора структуры нейронной сети, методов её обучения. Рассматриваются также вопросы формирования обучающих ансамблей. Фактически, автор предлагает методику формирования нейросетевого регулятора и его обучения в нескольких вариантах, отличающихся использованием функции Ляпунова, наличием адаптации, объёмом и достоверностью располагаемой математической модели объекта. Подобный подход следует отнести к **новым прикладным научным результатам**, что составляет **достоинство работы**.

Аннотация хорошо структурирована, написана хорошим грамотным техническим языком, хорошо иллюстрирована и позволяет получить достаточно ясное представление о содержании работы.

К недостаткам работы можно отнести:

- 1) Отсутствие оценок и примеров, связанных требуемым временем обучения сетей;
- 2) Непонятно, как влияет время обучения в режиме реального времени на устойчивость системы;
- 3) Рассматриваемый подход не снимает проблему объяснимости и доверительности работы ИНС
- 4) Не ясно, почему автор не сравнивал свои решения с решениями на основе нечетких регуляторов, хотя их работа понятна и объяснима.
- 5) Несколько обобщенное, недостаточно, на мой взгляд, конкретное обоснование основных приводимых выводов и результатов. Впрочем, это можно объяснить двумя обстоятельствами: ограниченностью объема, что не позволяет привести достаточно много данных и их обсуждения, и, с другой стороны, в области ИНС достаточно сложно что-то обосновать математически строго, и какие-то доказательства сходимости в литературе практически отсутствуют.

В целом можно утверждать, что работа выполнена на современном научном уровне, на актуальную тему, содержит результаты большого количества численных экспериментов и удовлетворяет требованиям ВАК к кандидатским диссертациям по специальности 2.3.1, а автор, Д.Л. Хапкин, проявил достаточную научную квалификацию и заслуживает присвоения ему степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1.

Отзыв составил:

Д.т.н., доцент, профессор

Дата 23.10.2023



Виноградов Г.П.

Контактные данные: 170023, Россия, Тверь, ул. Маршала Конева, д. 12, wgp272ng@mail.ru, тел: +7-980-641-92-79



Отзыв

на автореферат диссертационной работы Хапкина Дмитрия Леонидовича «Прикладные методы синтеза нейросетевых регуляторов для объектов управления с ограничителями», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика»

В соответствии с современными тенденциями в области развития систем управления сложными техническими объектами в условиях неполной информации является построение регуляторов на основе технологий искусственного интеллекта, в частности с применением искусственных нейронных сетей. Однако, такой подход сопряжен с рядом трудностей, в частности для замкнутых нейросетевых систем управления отсутствуют теоретические гарантии устойчивости, что существенно снижает возможности их применения в критически важных или опасных объектах. Поэтому задачи, связанные с разработкой методов синтеза регуляторов на базе искусственных нейронных сетей для объектов с наиболее часто встречающимися на практике нелинейностями, а также разработка методов, гарантирующих устойчивость замкнутых систем с нейросетевым управлением являются актуальными.

Практическое значение исследования подтверждено использованием результатов диссертационной работы в учебном процессе ТулГУ и при выполнении НИР в интересах АО «Конструкторское бюро приборостроения им. академика А.Г. Шипунова». Теоретические исследования, результаты которых изложены в автореферате, были поддержаны грантом РФФИ и грантом РНФ.

Несмотря на положительную оценку работы Хапкина Д.Л., необходимо отметить некоторые недостатки:

1. В автореферате отсутствует обоснование выбора методов инверсного нейроуправления и обратного пропуска ошибки через прямой нейроэмулятор, а также нет сравнения этих двух методов. При этом в дальнейшем рассматриваются структуры только с нейроэмулятором, хотя вариант инверсного нейроуправления выглядит проще как при реализации, так и при синтезе.

2. При рассмотрении задачи обеспечения гарантированной устойчивости утверждается, что во всех нейронных сетях должны

использоваться сети прямого распространения с функцией активации ReLU или leakyReLU, однако, никак не обосновано, почему нельзя использовать другие функции активации.

Несмотря на указанные недостатки, диссертационная работа Хапкина Д.Л. выполнена в полном объеме на достаточном научном уровне, является актуальной, а автор заслуживает присвоения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Отзыв составил:

Городничев Михаил Геннадьевич
к.т.н., доцент,
декан факультета «Информационные технологии»
Ордена Трудового Красного Знамени
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Московский технический университет связи и информатики»

Подпись Городничева Михаила Геннадьевича заверяю:

Проректор по научной работе
д.т.н., профессор



Ю.Л. Леохин

25.10.2023 г.

Контактные данные:

111024, г. Москва, ул. Авиамоторная 8а,

+7 (495) 957-77-99 (доб. 183),

m.g.gorodnichev@mtuci.ru

(научная специальность: 05.13.17 – Теоретические основы информатики)

Отзыв

на автореферат диссертационной работы **Хапкина Дмитрия Леонидовича** на тему *«Прикладные методы синтеза нейросетевых регуляторов для объектов управления с ограничителями»*, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 - «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика»

Содержание диссертационной работы соответствует специальности 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

В области систем автоматического управления разработка методов синтеза регуляторов, основанных на обучаемых структурах, учитывающих нелинейности объекта управления и ограничения, накладываемые на их эксплуатацию, является актуальной и важной задачей.

В диссертационной работе представлены разработанные алгоритмы формирования структуры нейрорегулятора, сбора данных и подготовки обучающей выборки, методы синтеза нейросетевых регуляторов на основе различных нейросетевых структур для объектов с ограничителями и с гарантиями устойчивости в заданной области фазового пространства.

Предлагаемые алгоритмы и методы позволяют синтезировать системы автоматического управления с нейросетевыми регуляторами для объектов с ограничителями и гарантировать устойчивость в заданной области фазового пространства путем формирования функции Ляпунова, основанной на нейронной сети.

Достоверность результатов и выводов подтверждена модельными экспериментами, их непротиворечивостью с известными результатами отечественных и зарубежных авторов.

Практическая значимость результатов исследований заключается в разработке прикладной методики синтеза нейросетевой системы управления для объектов с ограничителями. Ее применение позволяет синтезировать систему управления только по записанной динамике выходных сигналов объекта управления, что может ускорить сроки разработки.

Основные положения диссертации изложены в опубликованных автором статьях в изданиях ВАК, Scopus и других научных и научно-технических журналах, докладах и материалах международных конференций.

Замечания:

1. В работе методика апробируется на математической модели, хотя более показательным было бы тестирование на реальном объекте.

2. В автореферате имеются недоработки, например, на некоторых рисунках 10-12 не обозначена ось времени.

Несмотря на указанные замечания, работа соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям и соответствует критериям пунктов 9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней» от 24 сентября 2013 г. №842 (ред. от 18.03.2023), а ее автор Хапкин Дмитрий Леонидович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Отзыв составил:

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов»,
специальность 05.05.04 – Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины



Х.А. Джабраилов

Подпись, ученую степень и ученое звание Джабраилова Хизара Абубакаровича заверяю:

Ученый секретарь
ученого совета Университета



М.Ю. Алексеева

«23» октября 2023 г.

Данные об организации:

ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет» (МАДИ),

Адрес: 125319, г. Москва, Ленинградский проспект, дом 64.

Телефон: +7(499)-346-01-68, доб. 1200

e-mail: info@madi.ru

Оглавление

на автореферат диссертации Хапкина Дмитрия Леонидовича «Прикладные методы синтеза нейросетевых регуляторов для объектов управления с ограничителями», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 - «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика»

Из автореферата следует, что диссертация посвящена разработке нейросетевых регуляторов для управления объектами с ограничителями. Проблема синтеза системы управления для управления сложными нелинейными объектами и повышения их качества представляет значительный научный и практический интерес.

Актуальность работы обусловлена тем, что применение регуляторов на основе искусственных нейронных сетей позволяет синтезировать систему управления с выполнением требований по качеству управления без необходимости составления сложных математических моделей нелинейных объектов управления, что упрощает и ускоряет проектирование замкнутого контура.

В диссертации Хапкина Д.Л. разработаны алгоритмы формирования структуры нейронных сетей, подготовки обучающей выборки и модифицированные методы обучения нейросетевых регуляторов для объектов с ограничителями.

Основной проблемой нейросетевых регуляторов является отсутствие гарантий устойчивости, что не позволяет их применять в критически важных системах управления. В качестве решения этой актуальной проблемы в работе предложен метод синтеза устойчивой нейросетевой системы управления различными объектами. Он основан на формировании функции Ляпунова, являющейся обучаемой нейронной сетью. Проверка выполнения условий устойчивости представлена в виде решения задачи целочисленного программирования.

Все предложенные алгоритмы и методы объединены в методику, которая позволяет синтезировать замкнутую систему управления объектом управления с ограничителями, отвечающую заданным требованиям по времени регулирования. Также для полученной системы имеются гарантии устойчивости в заданной области фазового пространства в виде сформированной функции Ляпунова. Разработанная методика апробирована на синтезе нейросетевой системы управления гидроприводом.

Полученные в диссертации результаты являются новыми, имеют научное и практическое значение в области систем автоматического управления.

По автореферату имеется замечание: из текста не совсем ясно, как выбирается коэффициент k в формуле для η на стр.13. Возможно, это было бы понятней из графика зависимости значения коэффициента от времени моделирования.

Отмеченные замечания не снижают научную ценность диссертации.

Считаю, что диссертация Хапкина Дмитрий Леонидовича отвечает требованиям, предъявляемым ВАК РФ к диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 - «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика», а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по этой специальности.

Отзыв составил:

к.т.н., доцент, доцент кафедры
телекоммуникационных систем
НИУ МИЭТ



Волков Алексей Станиславович

Подпись Волкова А.С. удостоверяю:
Начальник ОРП



Данилова Екатерина Ивановна

27.10.2023



Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники»

Контактные данные: 124498, Российская Федерация, г. Москва, г. Зеленоград, площадь Шокина, дом 1, телефон: 8-499-720-87-40, email: leshvol@mail.ru.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Хапкина Дмитрия Леонидовича
«Прикладные методы синтеза нейросетевых регуляторов для объектов
управления с ограничителями»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Диссертационная работа Хапкина Д.Л. посвящена решению актуальной научно-технической задачи – разработке методики синтеза нейросетевых систем управления для объектов с ограничителями.

Для достижения поставленной цели исследования автором изучены имеющиеся подходы к синтезу нейросетевых систем управления. Рассмотрены существующие схемы обучения нейрорегулятора и выбраны в качестве основы для дальнейших исследований две: «инверсное нейроуправление» и «обратный пропуск ошибки через нейроимитатор».

Затем разработаны алгоритмы выбора структуры нейроимитатора и нейрорегулятора, формирования обучающей выборки с учетом ограничений в объекте управления. Используя предложенные алгоритмы, были модернизированы схемы обучения и сформированы новые методы синтеза нейросетевых регуляторов для объектов с ограничителями.

Автор указывает на то, что одной из главных фундаментальных проблем нейросетевых регуляторов является отсутствие гарантий устойчивости замкнутой системы управления. По этой причине был разработан метод позволяющий синтезировать нейросетевой регулятор вместе с функцией Ляпунова, гарантирующей устойчивость замкнутой системы управления.

Все разработанные алгоритмы и методы были объединены в общую методику синтеза нейросетевого регулятора для управления объектом с ограничителями. Полученная система имеет гарантии устойчивости и имеет показатели качества переходного процесса близкими к заданным. Данная методика апробирована на примере синтеза системы управления гидроприводом.

Научные положения, выносимые на защиту, несомненно, имеют научную новизну, в полной мере обоснованы и подтверждены результатами теоретического анализа и модельного расчета.

Результаты диссертационной работы имеют практическую значимость. Разработанные методы и методики позволяют упростить и ускорить разработку систем управления для объектов с наиболее встречающимися на практике нелинейностями (ограничители типа насыщение, ограничители типа

жесткий механический упор). Также предложенные методы можно расширить на другие нелинейности.

Текст автореферата изложен логично и последовательно, грамотным научным языком. Автореферат оформлен в соответствии с требованиями государственных стандартов.

Основные результаты диссертационной работы в достаточной мере апробированы автором на 10 научно-технических конференциях. Основные положения диссертации изложены в 11 научных статьях и материалах конференций, 3 из которых опубликованы в изданиях ВАК, 3 в изданиях, индексируемых в базе Scopus. Также получены 2 свидетельства о государственной регистрации для ЭВМ.

В качестве замечания к автореферату следует отметить, что в нём не представлена полная модель гидропривода, из которой получена упрощенная модель, а также формирование квазиоптимального регулятора. Это затрудняет понимание представленного примера, однако, не снижает общую положительную оценку работы.

В заключении следует отметить, что представленный автореферат диссертации «Прикладные методы синтеза нейросетевых регуляторов для объектов управления с ограничителями» соответствует специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика, по которой работа представлена к защите, а также требованиям Положения о присуждении учёных степеней, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а её автор Хапкин Дмитрий Леонидович заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук.

Отзыв составил:

К.т.н., доцент каф. ИУ10

МГТУ им Н.Э. Баумана



Богомолова Наталья Егоровна

20.10.2023

ПОДЕЛИСЬ ЗАВЕРЖАЮ

ЗАМ. НАЧАЛЬНИКА УПРАВЛЕНИЯ
ПАЗАРОВА О. В.

ТЕЛ. 8-499-253-60-4

Контактные данные: 105005, 2-я Бауманская ул., д.5, стр.1, Москва.
Bogomolova09@bmstu.ru. Тел. +7(495) 182-83-85



Отзыв

на автореферат диссертации Хапкина Дмитрия Леонидовича
«Прикладные методы синтеза нейросетевых регуляторов для объектов
управления с ограничителями», представленной на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности 2.3.1 Системный анализ,
управление и обработка информации, статистика.

Диссертационная работа Хапкина Дмитрия Леонидовича посвящена актуальной теме разработке методов синтеза нейросетевых регуляторов для объектов с ограничителями. Для формирования качественной системы управления необходимо иметь точную математическую модель. Однако на практике формирование такой модели для нелинейных объектов затруднено. Также, даже при наличии точной математической модели, может быть осложнен синтез регулятора существующими методами для удовлетворения требуемых характеристик итоговой системы. Полученные алгоритмы часто могут быть трудно реализуемыми из-за ограничений вычислителей. Одним из перспективных подходов является применение искусственных нейронных сетей в регуляторах. Их использование дает возможность выполнить синтез системы управления на основе записанной динамики объекта, а также появляется свойство адаптации к изменениям параметров объекта управления.

Автором получены результаты, имеющие большую научную и практическую значимость. Разработаны алгоритмы формирования обучающей выборки, структуры нейроимитатора и нейрорегулятора для объектов с ограничителями. С их применением модифицированы известные общие схемы обучения нейрорегуляторов, и предложены новые методы синтеза нейросетевых систем управления для объектов с ограничителями.

В работе уделено внимание важной проблеме нейросетевых систем управления — отсутствию гарантий устойчивости замкнутого контура. Для решения этой проблемы автором предложен метод формирования функции Ляпунова, которая гарантирует устойчивость замкнутой системы в заданной ограниченной области фазового пространства

Разработанные алгоритмы и методы объединены в методику, с помощью которой можно синтезировать нейросетевой регулятор для управления объектами с ограничителями. При этом сформированная замкнутая нейросетевая системы управления будет иметь гарантии устойчивости в заданной области фазового пространства, а параметры переходного процесса близкими к требуемым.

Замечания по автореферату:

- 1) Из автореферата не совсем ясно, почему автор для решения задачи синтеза нейрорегулятора выбрал за основу только нейронные сети прямого распространения и рекуррентные нейронные сети.
- 2) Не понятны обозначения ub и lb на рис. 5 и 6. Если это значение ограничения, то в уравнениях на стр. 8 оно обозначается одной буквой D . Данное разногласие в обозначениях осложняет восприятие схем.

Данные замечания не являются существенными и не снижают положительную оценку данной работы.

В целом автореферат отражает объем и глубину изложенных в нем результатов и подчеркивает высокую квалификацию автора.

Учитывая новизну, теоретическую и практическую значимость выполненных исследований, а также их достоверность, считаю, что работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Хапкин Дмитрий Леонидович достоин присуждения ученой степени по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Профессор кафедры практической и
прикладной информатики РТУ МИРЭА
д.т.н., доцент

Смоленцева Татьяна Евгеньевна

07.11.2023

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА - Российский технологический университет»

Почтовый адрес: 119454, г. Москва, Проспект Вернадского, д. 78

Официальный сайт в сети Интернет: <https://www.mirea.ru/>

эл. почта: mirea@mirea.ru телефон: +7 499 215-65-65



Подпись руки

УДОСТОВЕРЯЮ:

директор учебной работы

Мимошников А.В.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Хапкина Дмитрия Леонидовича «Прикладные методы синтеза нейросетевых регуляторов для объектов управления с ограничителями», которая представлена на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

Актуальность темы

Одним из современных и перспективных подходов к управлению динамическими системами является использование нейронных сетей в качестве регулятора. Известно, что нейросетевые технологии успешно применяются в различных инженерных приложениях, позволяют эффективно аппроксимировать нелинейные данные, используются для решения задач распознавания образов и обработки информации. Управление нелинейными динамическими системами является сложной задачей, классические методы теории автоматического управления не могут в полной мере обеспечить необходимую точность работы системы, быстродействие, надежность функционирования, особенно, когда нет точной модели динамики объекта управления, либо невозможно получить её линеаризованную модель с адекватной динамикой, более того, параметры системы могут изменяться в широком диапазоне значений. Одним из важных видов нелинейности, часто встречающейся в инженерной практике, являются звенья с жестким механическим ограничителем, т.к. движение любой механической системы всегда ограничено.

Таким образом, разработка новых методов синтеза устойчивых систем управления с нейросетевым регулятором для объектов с ограничителем, безусловно, является актуальной темой диссертационного исследования.

Научная новизна

Новыми, обладающими научной значимостью результатами, полученными соискателем, является:

1. Метод синтеза нейрорегулятора для управления объектом с ограничителем с обучением инверсного нейроуправления и на основе «обратного пропуска ошибки управления через нейроимитатор»
2. Метод синтеза нейрорегулятора и нейросетевой функции Ляпунова, позволяющей гарантировать устойчивость замкнутой системы управления в заданной области фазового пространства.
3. Методика синтеза устойчивой системы с нейрорегулятором для объектов с ограничителем.

Теоретическая значимость и практическая ценность исследования

Теоретическая значимость исследования состоит в решении одной из фундаментальных проблем проектирования нейросетевого управления с использованием нейросетевого регулятора, заключающаяся в обеспечении устойчивости замкнутой системы управления в локальной области, сформулирован критерий и численная методика анализа.

Практическая ценность полученных результатов заключается в том, что получена методика синтеза системы управления для класса нелинейных объектов управления с жестким механическим ограничителем, обеспечивающая желаемые показатели качества системы.

Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций

Обоснованность и достоверность полученных результатов подтверждается корректным применением методов теории автоматического управления, методов оптимизации и публикациями основных результатов в изданиях из Перечня ВАК и Scopus.

Недостатки исследования

Наряду с представленными на высоком научно-техническом уровне результатами в автореферате, имеются замечания:

1. Известны различные подходы к реализации нейросетевого управления, такие как подражающий нейросетевой регулятор, управление по нейросетевой прогнозирующей модели и т.д. Из автореферата не ясно чем обусловлен выбор именно инверсного нейроуправления. Существуют ли ограничения применения инверсного нейроуправления, например, когда в объекте

управления содержатся неоднозначные нелинейные функции, измеряемый вектор состояния зашумлен?

2. В автореферате говорится, что инверсный нейрорегулятор имеет дискретное представление и для линейного объекта получено разностное выражение (2). Далее рассматривается звено с ограничителем и они представлены в непрерывном времени, возникает вопрос какая реализация нейросетевого управления дискретная или непрерывная. Оценивалось ли влияние дискретизации на процессы управления.

3. В автореферате есть стилистические неточности, усложняющие восприятие материала. Например, приводится описание звена с ограничителем, где на вход поступает сигнал « U » а на выходе сигнал « y » дальше динамика звена записывается в виде системы дифференциальных уравнений, где сигнала « y » уже нет. Нет обозначения параметра t^* .

Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку работы. Диссертационная работа «Прикладные методы синтеза нейросетевых регуляторов для объектов управления с ограничителями» отвечает требованиям ВАК, предъявляемые к кандидатским диссертациям. Автор работы Хапкин Дмитрий Леонидович заслуживает присуждение ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Отзыв составил:

Кандидат технических наук,
начальник лаборатории АО «НПО
«СПЛАВ» им. А.Н. Ганичева»



Максимов Сергей Сергеевич

АО «НПО «СПЛАВ» им. А.Н. Ганичева» Щегловская засека, 33, г. Тула,
300004, Россия Тел.: (4872) 25-55-64 (63-17), моб.: +7-905-621-98-69
E-mail: mail@splavtula.ru (для Максимова С.С.)

Подпись Максимова С.С. заверяю:

Зам. начальника отдела кадров
АО «НПО «СПЛАВ» им. А.Н. Ганичева»

« 3. » ноября 2023 г.



Романов В.А.