

В диссертационный совет Д 212.079.10
при Казанском национальном
исследовательском техническом
университете им. А.Н. Туполева

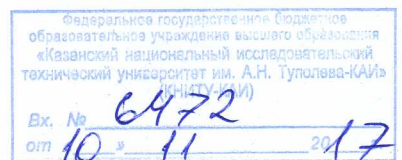
ОТЗЫВ

официального оппонента

доктора физико-математических наук, профессора Кирпичникова Александра Петровича на диссертационную работу Кабировой Айгуль Надиловны «Методы и комплексы программ построения нейросетевых моделей регуляторов для управления динамическим объектом», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 - «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Диссертация Кабировой А.Н. посвящена решению актуальной научной задачи разработки математического и программного обеспечения, основанного на нейросетевом моделировании с целью повышения эффективности построения нейросетевых моделей регуляторов для управления динамическим объектом с гладким монотонным поведением. Под эффективностью здесь понимается достигнутое диссертантом сокращения трудоёмкости и сроков разработки нейросетевых моделей.

В настоящее время нейруправление применяется в самых различных областях техники. Известны многочисленные примеры нейруправления такими сложными техническими объектами как летательные аппараты, морские суда, интеллектуальные роботы, автономные мобильные системы и т.д. В свою очередь, нейруправление тесно связано с нейросетевым моделированием. При этом естественным образом возникает вопрос об определении структуры и значения весов межнейронных связей нейросетевой модели регулятора, обеспечивающей его наилучшие аппроксимирующие и обобщающие способности. Такие способности нейросетевой модели во многом зависят от состава и объема обучающей выборки, построение которой, как правило, требует проведения большого количества экспериментальных исследований.



Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод о том, что формирование обучающей выборки без проведения экспериментальных исследований, а также целенаправленное определение структуры нейросетевой модели регулятора, обеспечивающей требуемое качество управления, являются весьма **актуальными** задачами.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, содержащего сводку основных результатов и выводов по работе, списка цитируемой литературы, состоящего из 117 наименований, и шести приложений. Диссертация напечатана в 1,5 межстрочных интервала, полный объём составляет 130 с., включая 71 рисунок и 25 таблиц.

Основные результаты диссертации изложены в 10 научных публикациях, в том числе в двух статьях автора, опубликованных в российских специализированных журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, и в двух статьях в материалах научных конференций, индексируемых в библиографической и реферативной базе данных Scopus. В Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (Роспатент) зарегистрировано две соответствующие программы для ЭВМ.

Во **введении** обоснована актуальность проблемы исследования, сформулирована цель, а также задачи, требующие решения для достижения поставленной цели, приведены научная новизна, теоретическая значимость и практическая ценность диссертационного исследования.

В **первой главе** приведён подробный обзор основных видов нейроуправления техническими объектами различных областей применения. Проведён сравнительный анализ данных методов, выделяются их достоинства и недостатки, приводится обзор основных областей их применения. Также в первой главе изложены основы нейросетевого моделирования регуляторов для управления динамическим объектом и сформулирована общая постановка задачи.

Вторая глава диссертационной работы, которая, на мой взгляд, является центральной, посвящена методам построения обучающих выборок и нейросете-

вых моделей регуляторов для одномерного управления динамическим объектом с монотонным гладким поведением. При этом

- в разделе 2.1 поставлена и решена задача построения нейросетевой модели регулятора для одномерного управления динамическим объектом с гладким монотонным поведением при наличии его математического описания. Приведены метод построения обучающей выборки без проведения экспериментальных исследований, основанный на знании требуемых траекторий поведения динамического объекта (метод 1) и метод построения нейросетевой модели регулятора, основанный на последовательном наращивании числа слоев и нейронов (метод 2).
- в разделе 2.2 поставлена и решена аналогичная задача, однако в данном случае у динамического объекта отсутствует соответствующее математическое описание. Поставленная задача решается в два этапа. При этом на первом этапе строится инверсная модель динамического объекта в виде нейроэмулятора, а на втором строится нейросетевая модель регулятора на основе построенного нейроэмулятора, метода 1 и метода 2.
- в разделе 2.3 развит метод направленного случайного поиска структуры нейронной сети (метод 3), основанный на применении генератора случайных чисел с законом распределения вероятности использования количества нейронов в каждом слое, уточняющегося на основе ошибки сети текущей структуры по тестовой выборке.

В третьей главе изложены методы построения нейросетевых моделей регуляторов с целью двухмерного управления динамическим объектом с монотонным гладким поведением. Приводится метод построения обучающей выборки (метод 4) и метод построения нейросетевой модели регулятора (метод 5).

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований, оформленные в виде численных и графических иллюстраций валидации нейросетевых моделей регуляторов с помощью системы автоматического управления в среде визуального моделирования Simulink.

Основными результатами автора, обладающими **научной новизной**, на мой взгляд, являются:

1. Новые методы построения обучающих выборок для разработки нейросетевых моделей регуляторов одномерного и двухмерного управления, позволяющие избежать проведения большого числа трудоёмких экспериментальных исследований для формирования этих выборок.

2. Новые методы построения нейросетевых моделей регуляторов на основе последовательного наращивания числа слоёв и нейронов как в случае одномерного, так и двухмерного управления, что позволяет достаточно надёжно оценить обобщающие способности нейросетевых моделей регуляторов.

3. Новый метод направленного случайного поиска структуры нейросетевой модели регулятора, который позволяет определять количество нейронов в слоях следующей структуры соответствующей нейронной сети.

Предложенные в диссертации методы исследования теоретически **обоснованы** и не противоречат приведённым в ней известным положениям других авторов.

Достоверность полученных в работе научных результатов и выводов по работе обеспечивается корректным использованием теоретических основ математического моделирования, теории автоматического управления, теории интеллектуального управления и объектно-ориентированного программирования. Кроме того, достоверность полученных результатов обеспечена строгостью проведения математических выкладок и преобразований, а также подтверждена вычислительными экспериментами и практическим использованием результатов работы.

Основными результатами диссертационного исследования, имеющим значительную **научную значимость**, на мой взгляд, являются предложенные автором методы построения обучающих выборок и нейросетевых моделей регуляторов.

Практической значимостью при этом обладают разработанные программные комплексы, реализующие модели систем автоматического управления со встроенными нейросетевыми моделями регуляторов, а также программный комплекс, реализующий направленный случайный поиск структуры нейросетевой модели регулятора.

Наряду с отмеченными достоинствами работа не свободна от **недостатков**, к которым можно отнести следующие:

1. На с. 15 рис. 1.1 вместо «Базовый искусственный нейрон», на мой взгляд, правильнее писать «Структурная схема стандартного формального нейрона». Там же пропущен знак «...» между сигналами X_2 и X_n .

2. На с. 27 в формулах (1.3)-(1.5) не указано, что подразумевается под параметром h ? Общепринято, что в градиентных методах под этим параметром подразумевают переменный коэффициент обучения, задаваемый на каждом шаге итерации относительно изменения функции ошибки $E(w)$. В указанных формулах (1.3)-(1.5) это никак не отражено. Тогда, что автор подразумевает в этих формулах под параметром h ?

3. В работе не рассмотрен вопрос о редукции нейросетевой модели регулятора.

4. Отсутствует обоснование использования частичного перебора возможного количества нейронов в слоях при определении структуры нейросетевой модели с помощью методов 2 или 5.

Тем не менее, указанные замечания носят рекомендательный характер и не являются определяющими при оценке данного диссертационного исследования. Автором продемонстрирован полный арсенал современных знаний в области разработки новых нейросетевых моделей регуляторов для управления динамическим объектом. В диссертации теоретическая глубина исследования удачно сочетается с убедительно проведёнными численными расчётами, а объём выполненной при этом работы вызывает уважение. Результаты численных расчётов показывают обеспечение высокого качества управления динамическим объектом на разных режимах его работы. Диссертация написана ясным и грамотным языком, её вы-

воды логичны и обоснованы, основные научные результаты своевременно опубликованы в рецензируемых изданиях и известны специалистам в области нейросетевого управления динамическими объектами. Текст диссертации изложен с учётом требований ВАК Минобрнауки РФ, предъявляемых к оформлению научных работ, содержит все необходимые ссылки на литературные источники. Автореферат правильно и достаточно полно отражает содержание диссертационной работы. По форме, как диссертация, так и автореферат соответствуют требованиям ВАК.

Диссертация Кабировой Айгуль Надилевны «Методы и комплексы программ построения нейросетевых моделей регуляторов для управления динамическим объектом» является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная научная задача нейросетевого моделирования регуляторов, имеющая существенное значение для разработки систем автоматического управления динамическими объектами. Диссертационная работа соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения учёных степеней Правительства РФ от 24 сентября 2013 года N 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук.

Считаю, что автор представленной на отзыв работы, Кабирова Айгуль Надилевна, заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 - «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Заведующий кафедрой интеллектуальных систем
и управления информационными ресурсами
Казанского национального исследовательского
технологического университета
доктор физико-математических наук
профессор

Кирпичников Александр Петрович

Адрес: 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68.
Телефон: +7 917 242 20 28.
E-mail: kirpichnikov@kstu.ru.



Подпись

Кирпичникова А.П.

Удостоверяется.

Начальник ОКид ФТБОУ ВО «КНИТУ»

С.А. Перельгина

С.А. Перельгина

«10» 11 2017г

СВЕДЕНИЯ

об официальном оппоненте

по диссертации Кабировой Айгуль Надилевны

«Методы и комплексы программ построения нейросетевых моделей регуляторов для управления динамическим объектом»

Фамилия, имя, отчество	Год рождения, гражданство	Место основной работы (с указанием наименования организации, ведомственной принадлежности, наименования структурного подразделения, типа организации, страны и адреса), должность	Учёная степень (с указанием шифра специальности научных работников, по которой защищена диссертация)	Учёное звание (по специальности / кафедре)	Академическое звание	Основные работы, опубликованные в рецензируемых научных журналах за последние пять лет
Кирпичников Александр Петрович	1954, Российская Федерация	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет» Минобрнауки РФ,	доктор физико-математических наук, 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы	профессор по кафедре автоматизированных систем обработки информации и управления	нет	<ol style="list-style-type: none"> 1. Кирпичников А.П., Илларионов М.Г., Латыпова Р.Р. Прогнозирование на основе аппарата нейронных сетей. Вестник Казанского технологического университета. – 2012. Том 15, №1. – С. 163-164. 2. Кирпичников А.П., Бураков М.В. Синтез дискретного нейро-ПИД регулятора. Вестник Казанского технологического университета. – 2014. Том 17, №1. – С. 286-288 . 3. Кирпичников А.П., Латыпова Р.Р., Семейко А.С. Прогнозирование региональной динамики с учетом пространственных связей на основе нейронных сетей. Вестник Казанского технологического университета. – 2014. Том 17, №15. – С. 320-325. 4. Кирпичников А.П., Катасёв А.С., Катасёва Д.С. Нейро-

		<p>420015, Российская Федерация, г. Казань, ул. Карла Маркса, 68,</p> <p>заведующий кафедрой интеллектуальных систем и управления информационными ресурсами</p>	программ		<p>сетевая технология классификации электронных почтовых сообщений. Вестник Казанского технологического университета. – 2015. Том 18, №5. – С. 180-183.</p> <p>5. Кирпичников А.П., Катасёв А.С., Катасёва Д.С. Нейросетевая диагностика аномальной сетевой активности. Вестник Казанского технологического университета. – 2015. Том 18, №6. – С. 163-167.</p> <p>6. Кирпичников А.П., Бураков М.В. Нейроэмулятор на базе гибридной нейронной сети. Вестник Казанского технологического университета. – 2015. Том 18, №9. – С. 211-214.</p> <p>7. Кирпичников А.П., Катасёв А.С., Катасёва Д.С. Нейросетевое прогнозирование инцидентов информационной безопасности предприятия. Вестник Казанского технологического университета. – 2015. Том 18, №9. – С. 215-218.</p> <p>8. Кирпичников А.П., Катасёв А.С., Катасёва Д.С. Распознавание рукописных символов на базе искусственной нейронной сети. Вестник Казанского технологического университета. – 2015. Том 18, №11. – С. 173-176.</p> <p>9. Кирпичников А.П., Катасёв А.С., Катасёва Д.С., Костюжев С.Г. Нейросетевая модель распознавания пользователей в системах дистанционного обучения. Вестник Казанского технологического университета. – 2015. Том 18, №13. – С. 160-163.</p>
--	--	---	----------	--	--

Заведующий кафедрой интеллектуальных систем и управления информационными ресурсами
 ФГБОУ ВО "Казанский национальный
 исследовательский технологический университет"
 доктор физико-математических наук, профессор



Кирпичникова А.П.
 удостоверяется.
 Начальник ОКИД ФГБОУ ВО «КНИТУ»
 «25» 05 2017г.

О.А. Перельгина

А.П. Кирпичников