

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной  
работе и инновационной  
деятельности ФГБОУ ВО  
«ИРНИТУ»



*Семенов Е.Ю.*

*16* » *марта* 2020 г.

Заключение по диссертации

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский  
технический университет»

Диссертация «Метод Нелдера-Мида для настройки регулятора, функционирующего на основе искусственных нейросетей» выполнена на кафедре «Автоматизированные системы», федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

В период подготовки диссертации соискатель Игумнов Иннокентий Васильевич обучался в очной аспирантуре на кафедре «Автоматизированных систем» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

В 2013 г. окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Иркутский государственный технический университет» по специальности «Автоматизированные системы обработки информации и управления» (квалификация – инженер).

Справки о сдаче кандидатских экзаменов выданы в 2017 г. ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» и 2020 г. ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем

технических наук, Куцый Николай Николаевич, профессор института информационных технологий и анализа данных федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет».

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

### **Оценка выполненной соискателем работы**

По актуальности поставленных задач, методическому и научному уровню исследований, их новизне и практической значимости диссертационная работа Игумнова Иннокентия Васильевича является законченной научно-квалификационной работой, которая отвечает требованиям п.9 положения «О порядке присуждения ученых степеней» (постановления Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842), предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук.

### **Актуальность темы исследования**

Разработка новых эффективных методов параметрической оптимизации регуляторов, имеющих в своем составе искусственные нейронные сети (ИНС), представляет интерес для решения широкого спектра задач, возникающих в теории автоматического управления. Так, как их внедрения в автоматизированную систему управления обеспечивает возможность реализации нелинейных отображений для нелинейных объектов управления, позволяет воплощать методы мультипроцессорной обработки на основе использования параллельных аппаратных средств, благодаря чему повреждение отдельных элементов технических средств не может существенно влиять на работу сети в целом.

### **Степень достоверности результатов проведенных исследований и их новизна**

Достоверность подтверждена применением общепринятого математического аппарата, а также соответствием полученных результатов исследованиям других авторов, полученных с помощью иных методов. Результаты исследования применены на практике при моделировании системы электроснабжения с автономным резервным источником питания переменным током получен акт о внедрении.

### **Научная новизна исследования заключается в следующем:**

- 1) Создание алгоритма обучения нейронных сетей (ОНС), построенного на основе метода Нелдера-Мида и адаптированного для решения задачи параметрической оптимизации ИНС в автоматических системах;
- 2) Исследование функций активации нейрорегуляторов в автоматических системах;
- 3) Формирование подхода к реализации импульсных элементов, имеющих в своем составе ИНС;
- 4) Разработка методики конкретизации параметров метода Нелдера-Мида с помощью генетического алгоритма;
- 5) Адаптация алгоритма ОНС для многоконтурных автоматических систем и их настройка по различным критериям.

### **Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы**

Результаты диссертации имеют как теоретический, так и практический характер. Теоретической значимостью результатов исследования диссертационной работы является конкретизация параметров метода Нелдера-Мида, и определение эффективности различных функций активации.

Практическая ценность заключается в формировании алгоритма параметрической оптимизации стабилизирующих автоматических систем, (как непрерывных, так и содержащих импульсные элементы) содержащих искусственные нейронные сети.

Результаты диссертационной работы использованы при настройке нейрорегуляторов системы электроснабжения с автономным резервным источником питания переменным током, системы управления давлением автоклава при электрическом нагреве, и системы стабилизации толщины изоляции кабельных изделий.

Получено шесть свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

### **Ценность научных работ соискателя**

Основные положения диссертационного исследования обсуждены на научно-практических конференциях и опубликованы в научных работах аспиранта, в которых отражены основные идеи и результаты диссертационного исследования.

## Полнота изложения материалов диссертации в работах, публикованных соискателем

Научная новизна, изложенная в диссертации, отражена в 10 опубликованных работах, общим объемом 30 (авторских – 58 п.л.), 8 из них изданы в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 6 свидетельства регистрации программы на ЭВМ, одна статья опубликована в журнале одна статья опубликована в журнале, индексируемом Web of Science на российской платформе. Публикации автора полно отражают содержание диссертационного исследования

## Статьи в ведущих научных журналах, определенных ВАК Министерства образования и науки РФ

1. Игумнов И. В. Формирование ШИМ-элемента с использованием искусственных нейронных сетей / И. В. Игумнов, Н.Н. Куцкий // Иркутск: Вестник ИргТУ. – 2014. – № 6(89) – С. 31-35.(авторский вклад 3/4 п. л.) <автором изложен метод построения нейронной сети на основе модуляционной характеристики импульсного элемента (в частности ШИМ) >
2. Игумнов И. В. Нейросетевая реализация и настройка ШИМ-элементов в автоматических системах / И. В. Игумнов, Н.Н. Куцкий // Новосибирск: Вестник НГТУ. – 2015. – № 3(60) – С. 23-32 (авторский вклад 6/9 п. л.) <автором предложен метод параметрической оптимизации автоматических систем с ШИМ-элементом, имеющим в своем составе искусственную нейронную сеть>
3. Игумнов И. В. Применение метода Нелдера-Мида при настройке нейронных сетей, реализующий ПИД-закон регулирования / И. В. Игумнов, Н.Н. Куцкий // Иркутск: Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2016. – № 1(49) . – С. 90-94. (авторский вклад 3/4 п. л.) <автором решена задача параметрической оптимизации автоматических систем с ПИД-нейрорегулятором>
4. Игумнов И. В. Параметрический синтез автоматических систем с нейросетевой реализацией ШИМ-элементов, использующих первую производную ошибки регулирования или ее первую разность / И. В. Игумнов, Н.Н. Куцкий // Иркутск: Вестник ИргТУ. – 2015. – № 12(107) – С. 133-139. (авторский вклад 4/6 п. л.) <автором проведены исследования нейросетевых реализаций ШИМ-элементов, использующих первую производную ошибки регулирования или ее первую разности>
5. Игумнов И. В. Алгоритм параметрической оптимизации автоматических систем с ШИМ-элементом, имеющим в своем составе нейронную сеть / И. В. Игумнов, Н.Н. Куцкий //Москва: Мехатроника. Автоматизация. Управление. – 2017. – № 4 -С. 227–232 (авторский вклад 4/5

п. л.) <автором предложен метод конкретизации параметров алгоритма, построенного на базе метода Нелдера-Мида>

6. Дунаев, М.П. Параметрическая оптимизация автоматической системы регулирования автоклава с двумя ПИД-нейрорегуляторами / М.П. Дунаев, И. В. Игумнов, Д.С. Киргин, Н.Н. Куцкий // Иркутск: Вестник ИрГТУ. – 2017. – № 4. – С. 67-72.(авторский вклад 2/5 п. л.) <автором решена задача параметрической оптимизации автоматической системы регулирования автоклава при управлении ПИ, ПИД-, ПИД-нейрорегуляторами >

7. Игумнов, И.В. Метод Нелдера–Мида в обучении искусственной нейронной сети, входящей в состав ШИМ-элемента / И.В. Игумнов, Н.Н. Куцкий // Вестник НГТУ.– Новосибирск: НГТУ, 2017. – № 3 (68) – С. 22-30. (авторский вклад 6/8 п. л.) <автором применен метод параметрической оптимизации автоматических систем с ШИМ-элементом, имеющим в своем составе искусственную нейронную сеть, показана сходимость к одной форме псевдомодуляционной характеристике>

8. Игумнов, И.В. Исследование ШИМ-элемента со спайковой нейронной сетью / И.В. Игумнов // Вестник ИрГТУ.– Иркутск: ИрГТУ, 2018. – № 8, Т. 22. – С. 63-71. <автором применен метод параметрической оптимизации автоматических систем с ШИМ-элементом, имеющим в своем составе спайковую нейронную сеть >

### **Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ**

9. Игумнов И.В. Программа настройки искусственных нейронных сетей, реализующих ШИМ-элемент / И.В. Игумнов, Н.Н. Куцкий // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ. № 2015610389 от 12.01.15 М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности. 2015. (авторский вклад 7/10 п.л.)

10. Игумнов И.В. Программа настройки искусственных нейронных сетей, реализующих АИМ-элемент / И.В. Игумнов, Н.Н. Куцкий // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ. №2016610973 от 22.01.16 М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности. 2016. (авторский вклад 7/10 п.л.)

11. Игумнов И.В. Параметрическая оптимизация системы стабилизации толщины изоляции кабеля с двумя искусственными нейронными сетями, реализующие два ШИМ-элемента / И.В. Игумнов, Н.Н. Куцкий // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ. №2016614579 от 26.04.16 М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности. 2016. (авторский вклад 7/10 п.л.)

12. Игумнов И.В. Программа настройки спайковых искусственных нейронных сетей, реализующих ШИМ-элемент / И.В. Игумнов, Н.Н. Куцкий // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ. №2016615780 от

30.05.16 М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности. 2016. (авторский вклад 7/10 п.л.)

13. Обучение нейросетевого ПИД-регулятора автоматического регулирования частоты вращения ротора трехфазного генератора / И.В. Игумнов, Н.Н. Куцкий, А.В. Крюков, А.В. Черепанов, А.П. Куцкий // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ. № 2018665033 от 08.11.18. Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. 2018. (авторский вклад 5/10 п.л.)

14. Обучение нейросетевого ПИД-регулятора автоматического регулирования частоты возбуждения обмотки трехфазного генератора / И.В. Игумнов, Н.Н. Куцкий, А.В. Крюков, А.В. Черепанов, А.П. Куцкий // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ. № 2018665364 от 13.11.18. Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. 2018. (авторский вклад 5/10 п.л.)

### **Статьи в других издания**

15. Игумнов И.В. Параметрическая оптимизация автоматической системы с нейросетевым ШИМ-элементом регулирования толщины пластмассовой изоляции / Материалы всероссийской с международным участием научно-практической конференции «Повышение эффективности производства и использовании энергии в условиях Сибири». Иркутск: Изд-во Иркутск, 2016. - С. 203-209. (авторский вклад 4/6 п. л.)

16. Игумнов И.В. Параметрическая оптимизация автоматической системы регулирования с дискретным ПИД-нейрорегулятором / Материалы научно-методического семинара (Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского Иркутск, 2017. - С. 73-79. (авторский вклад 4/6 п. л.)

### **Соответствие содержания диссертации специальности, по которой она рекомендована к защите**

Диссертация Игумнова Иннокентия Васильевича является завершенной научно-квалификационной работой, имеет научное и практическое значение в области автоматизации и управления технологическими процессами и производствами (промышленности). Результаты исследований соответствуют паспорту специальности 05.13.05, п.п. 2, 3, 4.

Диссертация «Метод Нелдера-Мида для настройки регулятора, функционирующего на основе искусственных нейросетей» Игумнова Иннокентия Васильевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления»

Заключение принято на научно-методическом семинаре института информационных технологий и анализа данных федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет».

Присутствовало на семинаре 21 чел. Результат голосования: «за» 21 чел., «против» – 0 чел., «воздержались» – 0 чел., протокол № 1 от «12» марта 2020 г.



Постельник Дмитрий Яковлевич, к.т.н., директор  
Института информационных технологий и  
анализа данных