

## ОТЗЫВ

официального оппонента

д.т.н., профессора Л.А. Демидовой

на диссертационную работу **Шерстнева Павла Александровича** на тему

**«Самоконфигурируемые эволюционные алгоритмы с адаптацией**

**на основе истории успеха**

**для проектирования моделей машинного обучения»**

представленную на соискание ученой степени

кандидата технических наук по специальности

2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

### **Актуальность темы диссертационной работы**

В настоящее время эволюционные алгоритмы представляют собой один из наиболее эффективных инструментов решения задач оптимизации с алгоритмически заданными функциями со сложным ландшафтом в пространствах сверхвысокой размерности. Эволюционные алгоритмы оптимизации активно применяются в сфере машинного обучения при разработке различных моделей принятия решений и ансамблей на их основе, в том числе – с применением искусственных нейронных сетей и нечетких логических систем.

Эффективность эволюционных алгоритмов оптимизации зависит от правильного выбора применяемых в них настроек – операторов и значений числовых параметров. Доказано, что для любого эволюционного алгоритма не существует универсального набора настроек, обеспечивающего его оптимальную работу на всех классах задач. Современные исследования в сфере эволюционных алгоритмов подтверждают перспективность применения при их реализации механизмов самоадаптации, позволяющих динамически корректировать настройки алгоритмов в процессе поиска оптимального решения. В рамках развития механизмов самоадаптации различными авторами предложено использовать самоконфигурируемые эволюционные алгоритмы, корректирующие вероятности выбора операторов на основе их эффективности и самонастраиваемые эволюционные алгоритмы, реализующие адаптацию числовых значений параметров на основе истории успеха.

Несмотря на значительный прогресс и разнообразие предложенных технологий в сфере эволюционных алгоритмов и машинного обучения, задача автоматизированного конструирования и оптимизации моделей машинного обучения с

применением современных эволюционных алгоритмов, позволяющих находить оптимальные решения, в том числе, в задачах с разношкальными переменными, сохраняет свою актуальность и остается одной из ключевых научно-технических проблем. Таким образом, разработка и исследование самоконфигурируемых эволюционных алгоритмов с адаптацией на основе истории успеха для автоматизированного конструирования и оптимизации моделей машинного обучения представляет собой важное и перспективное направление современной науки и техники.

### **Структура работы**

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы и семи приложений.

Введение содержит обоснование актуальности темы исследования, научной новизны и практической значимости результатов, полученных в диссертационной работе, выносимые на защиту научные положения, обзор актуальных исследований по теме работы.

В первой главе рассмотрены эволюционные алгоритмы как инструменты решения задач глобальной оптимизации, а также ключевые направления развития в сфере эволюционных алгоритмов и машинного обучения. Представлены современные методы интеллектуального анализа данных, предполагающие, в том числе, разработку искусственных нейронных сетей, нечётких логических систем и коллективных моделей машинного обучения. Кроме того, рассмотрены передовые подходы к гибридизации моделей и автоматическому проектированию их структур с использованием эволюционных алгоритмов. Также представлены библиотеки и фреймворки, реализующие применение эволюционных алгоритмов.

Во второй главе представлены и исследованы самоконфигурируемые генетические алгоритмы оптимизации с адаптацией на основе истории успеха (SelfCSHAGA, PDPSHAGA) и самоконфигурируемые алгоритмы генетического программирования с адаптацией на основе истории успеха (SelfCSHAGP, PDPSHAGP).

В третьей главе представлен метод кодирования нескольких структур искусственных нейросетей в общем бинарном дереве, рассмотрен подход к формированию ансамблей нейронных сетей на основе общего бинарного дерева, предложен и исследован метод автоматизированного формирования ансамблей

нейронных сетей на основе общего бинарного дерева с помощью генетического программирования GPENN (Genetic Programming Ensemble of Neural Networks).

В четвёртой главе представлена авторская библиотека Thefittest для автоматизированного проектирования интерпретируемых моделей машинного обучения, реализующая, в том числе, разработанные в диссертационной работе самоконфигурируемые эволюционные алгоритмы с адаптацией на основе истории успеха и метод автоматизированного формирования ансамблей нейронных сетей на основе общего бинарного дерева с помощью генетического программирования. Кроме того, в этой главе предложен гибридный подход к проектированию интерпретируемых моделей машинного обучения с привлечением нечётких логических систем и рассмотрено решение трёх актуальных практических задач прогнозирования – силы ветра на морском побережье, деградации солнечных батарей космического аппарата и уровня звукового давления деревянных панелей.

В заключении представлены основные результаты работы.

Список литературы содержит актуальные научные работы по теме диссертационного исследования, в том числе – автора диссертационной работы.

В приложении 1 представлены 6 свидетельств о регистрации программных систем по теме диссертационной работы в Федеральной службе по интеллектуальной собственности (Роспатент). В приложениях 2 – 6 представлены акты внедрения и справки об использовании результатов диссертационного исследования, в частности – авторского фреймворка Thefittest. В приложении 7 представлен диплом победителя премии «Гравитация 2025» (номинация «Алгоритмы и программные решения в области искусственного интеллекта и больших данных»), присуждённой за разработку библиотеки Thefittest.

#### **Степень достоверности и обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Достоверность и обоснованность результатов подтверждена корректно применённым математическим аппаратом, лежащим в основе разработанных алгоритмов и методов, экспериментальной проверкой результатов предлагаемых алгоритмов и методов на тестовых функциях и выборках данных из публичных репозиториях данных и тестовых выборках данных, сформированных лично автором диссертационной работы, результатами решения актуальных практических задач и представлением результатов диссертационного исследования на профильных научных конференциях.



Основные положения диссертации обсуждались на международных научных конференциях. Основные результаты диссертационной работы изложены в 22 работах, из них 5 статей в журналах Перечня ВАК РФ, в том числе одна в журнале из «Белого списка», 5 статей в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования Web of Science и Scopus. Кроме того, по теме диссертационной работы зарегистрированы 6 программных систем в Федеральной службе по интеллектуальной собственности (Роспатент).

**Научная новизна, ценность результатов и выводов для науки и практики**

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке:

- самоконфигурируемого генетического алгоритма и самоконфигурируемого алгоритма генетического программирования, отличающихся от известных измененным циклом работы и комплексной модифицированной процедурой скрещивания, а также интеграцией механизма адаптации вероятностей операторов скрещивания и мутации на основе истории успеха, что обеспечивает повышение надежности по сравнению с известными аналогами;
- алгоритма автоматизированного формирования ансамбля нейронных сетей на основе алгоритма генетического программирования, отличающегося от известных способом совместного кодирования множества искусственных нейронных сетей в одном бинарном дереве, что позволяет одновременно оптимизировать архитектуру отдельных нейронных сетей в ансамбле, их число и метамодель, обеспечивая автоматизацию процесса формирования интеллектуальных информационных технологий;
- метода гибридизации интеллектуальных информационных технологий на основе эволюционных алгоритмов, отличающегося от известных автоматизированной интеграцией нейросетевых моделей и нечетких логических систем, что позволяет объединить высокую точность нейросетевой модели с возможностью логической интерпретации ее поведения, обеспечивая построение объяснимых и компактных моделей без необходимости ручной настройки.

Теоретическая значимость результатов диссертационной работы заключается в том, что разработанные автором эволюционные алгоритмы оптимизации могут быть использованы для автоматизированного формирования точных и интерпретируемых интеллектуальных информационных технологий. Самоконфигурируемый генетический алгоритм и самоконфигурируемый алгоритм генетического программирования с измененными циклами работы, комплексной мо-

дификацией процедур скрещивания и адаптацией параметров на основе истории успеха обеспечивают соответственно повышение надежности решения задач разношкальной оптимизации по сравнению с известными аналогами и задач символьной регрессии, построения моделей и предсказательного моделирования, расширяя перечень известных подходов к адаптации операторов и параметров эволюционных алгоритмов. Разработанный автором метод автоматизированного формирования ансамблей нейронных сетей с применением нового метода кодирования структур искусственных нейронных сетей на основе бинарных деревьев расширяет теоретические основы эволюционного проектирования ансамблевых моделей и обеспечивает возможность одновременной оптимизации архитектуры отдельных нейронных сетей в ансамбле, их числа и результирующей мета-модели. Кроме того, предложенный автором метод гибридизации интеллектуальных информационных технологий на основе эволюционных алгоритмов, позволяет разрабатывать модели машинного обучения, реализующие интеграцию искусственных нейронных сетей, их ансамблей и нечётких логических систем, и способствует развитию теории формирования интерпретируемых моделей машинного обучения с сохранением точности и высокой интерпретируемости принимаемых решений.

Практическая значимость результатов диссертационной работы заключается в том, что автором разработана программная библиотека с открытым исходным кодом «Thefittest» на языке Python, обеспечивающая эффективное применения самоконфигурируемых эволюционных алгоритмов в задачах оптимизации и проектирования интеллектуальных информационных технологий. Практическая ценность разработанных в диссертационной работе алгоритмов, методов и программных систем подтверждена эффективным решением ряда актуальных практических задач, связанных с прогнозированием силы ветра на морском побережье, деградации солнечных батарей космического аппарата и уровня звукового давления деревянных панелей.

#### **Замечания**

1. Неудачное представление формул для пороговой функций активации и параметрического линейного выпрямителя (PReLU) в таблице 1.1, а также формул (1.7) и (1.8).
2. Наличие опечаток: в формуле (1.11) индекс  $i$  в правой части формулы должен быть нижним; в пояснении к формуле (1.12): написано  $cnt(i)$ , а должно быть  $cnt^i$ . На страницах 35 и 36 упоминается *randc* – генератор на основе Коши



распределения, но в формулах (1.16) и (1.20) вместо *randc* используется *randn*. На странице 79 говорится о функциональном множестве, но представлено универсальное.

3. В выводах по рисунку 3.9 присутствует путаница. О каких задачах идёт речь? СС или ССР? ВС или ВСW? УК или UKM? Такое же замечание про обозначения на рисунке 3.10.

4. На странице 96 в предложении «Пользователь определяет ФП (стр. 4–5), инициализирует алгоритм с необходимыми параметрами (стр. 7–11), запускает оптимизацию (метод *fit()*, стр. 14) и получает результат через метод *get\_fittest()* (стр. 14–15)» идёт речь о номерах страниц или строк, если написано «стр.»?

5. В пояснении к формуле (4.1) следовало бы указать индексы у переменных *o* и *u*.

6. Для 3 задач, рассмотренных в главе 4, следовало бы привести в табличном виде средние оценки по числу правил и числу предпосылок. Кроме того, следовало бы конкретизировать принципы разработки НЛС, НЛС1 и НЛС2 на основе питтсбургского подхода кодирования.

#### **Общая оценка и заключение**

Вышеуказанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы.

Диссертационная работа Шерстнева П.А. является законченным научно-квалификационным исследованием, содержащим решение актуальных задач, объединённых общим подходом. Структура и содержание диссертационной работы соответствуют целям и задачам исследования. Полученные автором результаты достоверны, имеют теоретическую и практическую значимость, а выводы и заключения являются обоснованными. Научные результаты, представленные в диссертационной работе, являются личным научным достижением автора в сфере эволюционных алгоритмов оптимизации и машинного обучения. Результаты диссертационной работы достаточно полно представлены в 22 публикациях, включая 5 статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, докладывались на отечественных и международных конференциях, в Роспатент зарегистрировано 6 программ для ЭВМ.

Содержание диссертационной работы и полученные результаты соответствуют п.4 и п. 5 паспорта специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Автореферат достаточно полно отражает основное содержание диссертационной работы, основные этапы исследования, полученные результаты и выводы. Оформление автореферата и диссертационной работы соответствует требованиям ВАК РФ.

Диссертационная работа Шерстнева П.А. «Самоконфигурируемые эволюционные алгоритмы с адаптацией на основе истории успеха для проектирования моделей машинного обучения» соответствует пп. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика, а её автор, Шерстнев П.А., заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по данной специальности.

*Я, Демидова Лилия Анатольевна, согласна на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.*

Д.т.н., профессор,  
профессор кафедры корпоративных  
информационных систем  
ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российского  
технологического университета»  
(РТУ МИРЭА)

Демидова Лилия  
Анатольевна

02.07.2025

ФГБОУ ВО  
«МИРЭА – Российский  
технологический университет»  
(РТУ МИРЭА)  
119454, г. Москва, проспект Вернадского  
E-mail: liliya.demidova@rambler.ru  
Тел.: +7 (499) 600-80-80

*подпись Демидовой Л.А.  
Зам. первого проректора  
РТУ МИРЭА*