УТВЕРЖДАЮ
и.о. проректора по науке и инновациям
ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», доктор физико-математических наук, доцент

_____ Швейкин Алексей Игоревич

«06» июня 2024 г.

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора по науке
ООО «Пермский центр поддержки принятия решений», доктор экономических наук, кандидат технических наук, профессор

_____ енко Евгени ович

«06» _____ 2024 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации,
и общества с ограниченной ответственностью
«Пермский центр поддержки принятия решений»

Диссертация «Методы и алгоритмы предобработки ограниченных данных и оценки качества неполносвязных нейронных сетей при их построении на основе корней принятия решений» выполнена на кафедрах «Экономика и финансы» и «Вычислительная математика, механика и биомеханика» в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации и в научно-исследовательском отделе общества с ограниченной ответственностью «Пермский центр поддержки принятия решений».

В период подготовки диссертации Кожемякин Леонид Валерьевич работал в должностях старшего преподавателя кафедры «Экономика и финансы», инженера кафедры «Вычислительная математика, механика и биомеханика» (по совместительству) в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» и в должности ведущего специалиста научно-исследовательского отдела в обществе с ограниченной ответственностью «Пермский центр поддержки принятия решений» (по совместительству).

В 2016 году Кожемякин Л.В. окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального

образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» по специальности «Прикладная математика и информатика», специализация «Математический анализ и управление экономическими процессами».

В 2020 году окончил аспирантуру очной формы обучения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

В 2022 году прикреплён для подготовки диссертации на соискание учёной степени кандидата наук без освоения программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (приказ по Пермскому национальному исследовательскому политехническому университету от 24.10.2022 г. №141-А).

Научный руководитель – кандидат экономических наук, доцент Алексеев Александр Олегович, работает начальником управления организации научных исследований, доцентом кафедры «Экономика и финансы» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

1. Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации, заключается в следующем:

- выполнил серию вычислительных экспериментов по разбиению исходных данных на интервалы и определил диапазоны значений наблюдаемых показателей, обладающие наибольшей информационной значимостью в задаче классификации;
- показал, что точность корня принятия решений, структура которого определена с помощью экспертного мнения, выше, чем в случае случайной свёртки категориальных значений;
- автоматизировал процедуру поиска иерархического представления набора решающих правил в виде деревьев решений;
- обучил и протестировал ряд деревьев решений, как на предварительно обработанных данных, так и на данных без их предварительной обработки, используя разные критерии разбиения узлов деревьев решений;
- провел ряд вычислительных экспериментов обучения и тестирования (обобщения) полносвязных искусственных нейронных сетей как с одним скрытым слоем, так и с двумя скрытыми слоями, используя различные интеллектуальные информационные системы;
- сравнил результаты обучения и тестирования (обобщения) полносвязных искусственных нейронных сетей, полученных на данных без предварительной обработки, с результатами обучения и тестирования (обобщения) нейронных сетей такой же архитектуры, полученных на данных с их предварительной обработкой;

- предложил метод оценки качества обучения нейронной сети в условиях ограниченных данных;
- разработал программный модуль для оценки качества обучения нейронных сетей с учетом перекрёстной проверки, чувствительности и специфичности;
- разработал частные алгоритмы программного модуля обучения нейронной сети с каскадной структурой и провел тестирование и испытание программного модуля обучения нейронной сети с каскадной структурой;
- выполнил апробацию предложенных методов и алгоритмов анализа ограниченных данных при участии в фундаментальных исследованиях в рамках соглашений в 2022 и 2023 гг. с АНО «Научно-образовательный центр мирового уровня «Рациональное недропользование» по проекту «Новые материалы и технологии для медицины»;
- внедрил разработанные методы в практическую деятельность организации ООО «Системы диагностик», с которым заключил лицензионные договоры на использование результатов интеллектуальной деятельности, отнесенных к категории «секрет производства (ноу-хау)».

2. Научная новизна диссертационной работы заключается в развитии методов и алгоритмов предобработки ограниченных наборов данных и оценки качества неполносвязных нейронных сетей при их построении на основе корней принятия решений, а также получении следующих научных результатов:

- предложен способ обработки ограниченных наборов данных, отличающийся от известных разбиением области определения исходных данных на интервалы, образуя набор дискретных данных, на основе которых идентифицируются корни принятия решений и строятся неполносвязные нейронные сети, в конце обучаемые на исходном наборе данных. Такая предобработка данных позволяет сократить поиск нужной структуры неполносвязной нейронной сети, что сокращает время анализа данных за счёт того, что наличие синаптических связей определяется по матрицам свёртки и их последовательности;
- разработано алгоритмическое обеспечение информационной системы проектирования и обучения неполносвязных искусственных нейронных сетей, отличающееся от известных тем, что неполносвязность нейронных сетей обеспечивается во всех узлах её структуры, за счёт чего становиться возможным проектирование и обучение искусственных нейронных сетей, основанных на корнях принятия решений. Информационная система позволяет осуществлять многократные вычислительные эксперименты по анализу устойчивости результатов обучения неполносвязных нейронных сетей, включая кросс-валидацию в условиях ограниченных наборов данных;
- предложен метод оценки качества обучения нейронной сети в условиях ограниченных данных, отличающийся от известных тем, что выполняется многократное обучение и валидация на независимой выборке нейронных сетей

эквивалентных по количеству синаптических коэффициентов, за счёт чего возможно сравнивать качество обучения нейронной сети без предобработки данных с качеством обучения неполносвязной нейронной сети, основанной на корне принятия решений.

3. Степень достоверности результатов проведенных исследований подтверждается достаточным объёмом и результатами аналитических исследований; многократными вычислительными экспериментами, выполненными с применением различных методов обработки данных, используя независимые информационные системы; полученные результаты не противоречат известным положениям теории систем и системного анализа, теории информации, теории принятия решений. Апробация полученных результатов проведена на международных и всероссийских конференциях.

4. Теоретическая и практическая значимость исследования.

Подтверждена гипотеза об эффективности построения искусственных нейронных сетей, основанных на корнях принятия решений в условиях ограниченного набора исходных данных, что определяет теоретическую значимость исследования.

Разработанные методы использовались на лекционных и практических занятиях по дисциплинам «Дискретная математика и математическая логика», «Системы искусственного интеллекта», «Искусственный интеллект и машинное обучение».

Практическая значимость данного исследования определяется тем, что впервые создано программное обеспечение, позволяющее проектировать и обучать неполносвязные нейронные сети на основе корней принятия решений. Программное обеспечение используется как составной компонент виртуальной среды интеллектуального анализа данных «Data to Decisions» (D2D.Platform), разработанное в ООО «Пермский центр поддержки принятия решений» (г. Пермь) в рамках НИОКР «Разработка и тестирование прототипа многопользовательской виртуальной среды интеллектуального анализа данных» (регистрационный номер 122122600007-1). Также программное обеспечение использовалось при выполнении фундаментальных исследований в рамках Научно-образовательного центра мирового уровня «Рациональное недропользование» (соглашения № 075-10-2022-110/6 ПНИПУ от 08.11.2022 г., № 075-10-2023-113/1 ПНИПУ от 12.09.2023 г.) по проекту «Новые материалы и технологии для медицины». Созданы два результата интеллектуальной деятельности, которые отнесены к категории «секрет производства (ноу-хау)» (приказ Пермского национального исследовательского политехнического университета «Об установлении режима коммерческой тайны на результат интеллектуальной деятельности» от 15.09.2023 г. №3243-В и от 18.10.2023 г. №3925-В). Заключены лицензионные договоры на их использование с ООО «Системы диагностик» (г. Пермь). (№2023/706 от 03.11.2023 г. и №2023/716 от 03.11.2023 г.).

5. Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

Содержание диссертационной работы достаточно полно отражено в 12 научных работах, в их числе 3 статьи в рецензируемых научных изданиях, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, из них 1 статья в издании, индексируемом в международных реферативных базах и системах цитирования Web of Sciences Core Collection и Scopus, получены 1 патент на изобретение, 3 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ. В тексте диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем по теме диссертации работах. Основное содержание диссертации отражено в следующих работах:

Публикации в изданиях, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук

1. Data Preprocessing and Neural Network Architecture Selection Algorithms in Cases of Limited Training Sets – On an Example of Diagnosing Alzheimer's Disease = Алгоритмы предобработки данных и выбора архитектуры нейронных сетей в случае ограниченных обучающих данных – на примере диагностики болезни Альцгеймера / A. Alekseev, **L. Kozhemyakin,** V. Nikitin, J. Bolshakova // Algorithms 2023. – Vol. 16, Iss. 5. – Art. 219. – DOI 10.3390/a16050219. – Ст. на англ. языке. (Web of Science Core Collection, Scopus).

Соискателем описаны предлагаемые правила и методы предварительной обработки данных для выбора архитектуры нейронных сетей. Показан идентифицированный корень принятия решений, описывающий свёртку категориальных значений наиболее значимых показателей, на основе которого однозначно идентифицирована архитектура неполносвязной нейронной сети в соответствии с элементами матриц свёртки. **(Вклад соискателя 7 / 25 стр.)**

2. **Кожемякин, Л.В.** О качестве обучения искусственных нейронных сетей без предобработки данных в условиях их ограниченного исходного набора / Л.В. Кожемякин, А.О. Алексеев. – Текст : непосредственный // Прикладная математика и вопросы управления / Applied Mathematics and Control Sciences. – 2023. – № 3. – С. 67–83. – DOI 10.15593/2499- 9873/2023.3.05

В статье проверялась гипотеза о возможности качественного обучения искусственных нейронных сетей без предобработки данных, которая была опровергнута. Соискателем приведены результаты серии, проведенных им многократных вычислительных экспериментов, в ходе которых сравнивались результаты качества искусственных нейронных сетей, обученных на предварительно обработанных данных и на данных без их предобработки. **(Вклад соискателя 10 / 17 стр.)**

3. **Кожемякин, Л.В.** О качестве обучения основанных на корнях принятия решений неполносвязных нейронных сетей в условиях ограниченных данных / Л.В. Кожемякин, А.О. Алексеев. – Текст : электронный // Инженерный

вестник Дона – 2024. – № 3. – Режим доступа: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2024/9089.

В статье подтверждена гипотеза, что искусственная нейронная сеть, основанная на корне принятия решений, обладает приемлемым уровнем точности для её практического применения. Соискателем описаны результаты обучения неполносвязной нейронной сети, выполненного в созданном при участии соискателя программного модуля. Соискателем построены графики, демонстрирующие качество обучения неполносвязной нейронной сети. **(Вклад соискателя 8 / 16 стр.)**

Патент на изобретение

4. Патент на изобретение № 2024685360 Российская Федерация. Способ диагностики болезни Альцгеймера / А.О. Алексеев, **Л.В. Кожемякин,** В.Н. Никитин, Ю.А. Большакова. – № 2023684000: заявл. 19.10.2023: опубл. 14.05.2024.

Соискателем идентифицирован корень принятия решений, являющийся одним из пунктов изобретения – способа диагностики болезни Альцгеймера. **(Вклад соискателя 55%)**

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023685360 Российская Федерация. Программный модуль проектирования и обучения нейронных сетей, основанных на корнях принятия решений (Software Module for Designing and Training Decisions Root-based Neural Networks) / А.О. Алексеев, **Л.В. Кожемякин,** А.В. Маккавеев. – № 2023684000: заявл. 13.11.2023: опубл. 27.11.2023.

Соискатель разработал частные алгоритмы программного модуля обучения нейронной сети с каскадной структурой. **(Вклад соискателя 35%)**

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023688880 Российская Федерация. Программный модуль диагностики болезни Альцгеймера с помощью деревьев решений / **Л.В. Кожемякин.** – № 2023688748: заявл. 25.12.2023: опубл. 25.12.2023.

Соискатель разработал программу для многократного построения деревьев решений диагностики болезни Альцгеймера. **(Вклад соискателя 100%)**

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024662382 Российская Федерация. Программный модуль для оценки качества обучения нейронных сетей: / **Л.В. Кожемякин,** А.О. Алексеев, А.В. Маккавеев. – № 2024661802: заявл. 28.05.2024: опубл. 28.05.2024.

Соискатель разработал часть программного модуля для оценки качества обучения нейронных сетей путём проведения многократных вычислительных экспериментов. **(Вклад соискателя 30%)**

Прочие работы по теме диссертации:

8. **Kozhemyakin, L.V.** Application of Decisions' Roots for Data Analysis on Example of Dataset with Magnetic Susceptibility Values of the Brain Veins and the Alzheimer's Disease = Применение корней принятия решений для анализа данных на примере магнитной восприимчивости вен головного мозга и болезни Альцгеймера / L.V. Kozhemyakin, A.O. Alekseev, V.N. Nikitin // Proceedings of

2022 4th International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2022, Virtual, Lipetsk, 09–11 November 2022. – IEEE, 2022. – P. 425–427. – DOI 10.1109/SUMMA57301.2022.9973977. – Ст. на англ. языке. (Scopus). **(Вклад соискателя 1 / 3 стр.)**

9. **Кожемякин, Л.В.** Применение корней принятия решений для определения взаимосвязи между магнитной восприимчивостью вен головного мозга и наличием болезни Альцгеймера / Л.В. Кожемякин, В.Н. Никитин, А.О. Алексеев // Управление большими системами : труды XVIII Всероссийской школы-конференции молодых ученых, Челябинск, 05–08 сентября 2022 года. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2022. – С. 318–324. **(Вклад соискателя 3 / 7 стр.)**

10. **Кожемякин, Л.В.,** Алексеев А.О. Применение нейронных сетей на ограниченном исходном наборе данных // Нейрокомпьютеры и их применение: сб. тез. XXI Всерос. науч. конф., 28 марта 2023 г., г. Москва. МГППУ. – Москва. 2023. – С.158–160. **(Вклад соискателя 1 / 3 стр.)**

11. Алексеев, А.О. Проектирование нейронных сетей на основе дискретных механизмов комплексного оценивания / А.О. Алексеев, **Л.В. Кожемякин** // Математические методы в технологиях и технике. – 2023. – № 9. – С. 55–58. – DOI 10.52348/2712-8873_ММТТ_2023_9_55. **(Вклад соискателя 2 / 4 стр.)**

12. Алексеев, А.О. Концепция многопользовательской виртуальной среды интеллектуального анализа данных / А.О. Алексеев, **Л.В. Кожемякин** // Управление большими системами : сборник научных трудов XIX Всероссийской школы-конференции молодых ученых, Воронеж, 05–08 сентября 2023 года. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2023. – С. 442–448. **(Вклад соискателя 2 / 8 стр.)**

6. Соответствие содержания диссертации специальности, по которой она рекомендуется к защите

Представленная Кожемякиным Леонидом Валерьевичем диссертационная работа посвящена разработке методов и алгоритмов предобработки ограниченных данных и оценки качества неполносвязных нейронных сетей при их построении на основе корней принятия решений, имеющая важное значение для развития методов системного анализа, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта и их внедрения в технических и медико-биологических системах.

Указанная область исследования соответствует паспорту специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика:

п. 3. Разработка критериев и моделей описания и оценки эффективности решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта,

п. 4. Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта,

п. 5. Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта,

7. Соответствие диссертации требованиям, установленным п. 14 Положения о присуждении ученых степеней.

Диссертационная работа Кожемякина Леонида Валерьевича представляет собой оригинальное исследование. Соискатель в тексте диссертации корректно ссылается на научные работы и источники заимствования используемых научных и экспериментальных материалов, на авторов исследований, направление которых релевантно теме диссертационной работы, в том числе на работы, выполненные как им лично, так и в соавторстве.

Диссертация «Методы и алгоритмы предобработки ограниченных данных и оценки качества неполносвязных нейронных сетей при их построении на основе корней принятия решений» **Кожемякина Леонида Валерьевича** рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Заключение принято на совместном заседании кафедр «Экономика и финансы» и «Вычислительная математика, механика и биомеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета и Пермского центра поддержки принятия решений с приглашением научно-педагогических работников ПНИПУ, занимающихся научными исследованиями в области теории управления и её приложениям.

Результаты голосования: «За» – 33 чел., «Против» – 1 чел., «Воздержалось» – 1, протокол заседания № 16 от «22» мая 2024 г.

доктор экономических наук,
профессор, заведующая кафедрой
«Экономика и финансы» ПНИПУ / Елохова Ирина Владимировна /

доктор технических наук,
профессор, заведующий кафедрой
«Вычислительная математика,
механика и биомеханика» ПНИПУ / Столбов Валерий Юрьевич /

кандидат технических наук,
начальник научно-исследовательского
отдела ООО «Пермский центр поддержки
принятия решений» / Черепанов Фёдор Михайлович /