

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

кандидата физико-математических наук, доцента кафедры «Вычислительная математика, механика и биомеханика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» **Клюева Андрея Владимировича** на диссертационную работу Черепанова Федора Михайловича «Методы повышения эффективности нейросетевых рекомендательных систем в условиях ограниченных объемов выборок со сложными корреляционными связями (на примере диагностики и прогнозирования сердечно-сосудистых заболеваний человека)», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (технические и информационные системы).

### Актуальность избранной темы

В настоящее время развитие информационных технологий в значительной степени обусловлено исследованиями в области искусственного интеллекта и применением их на практике. Одним из ведущих направлений в этой области являются нейросетевые технологии, которые получают все большее распространение и применение на практике.

Тема диссертационной работы Черепанова Ф.М. связана с развитием нейросетевых технологий, и заключается в повышении эффективности применения методов, основанных на аппарате искусственных нейронных сетей (ИНС), в условиях ограниченных объемов данных со сложными корреляционными связями между ними. Такая постановка актуальна не только для развития важного научного направления, но и в контексте выбранного практического применения – задаче создания качественных систем медицинской диагностики, способных не только учитывать особенности каждого конкретного человека при оценке развития заболевания, но и выполнять прогнозы по течению заболевания. Для решения данной задачи в работе предлагаются методы повышения эффективности применения искусственных нейронных сетей на различных этапах: анализ множества данных, обучение и оптимизация нейронной сети, применение нейросетевой модели при прогнозировании.

**Степень обоснованности каждого научного положения, выводов и заключения, сформулированных в диссертации**

Подробное описание положений, выдвигаемых на защиту, приводится во второй главе диссертационной работы.

В описании *метода выявления аномальных наблюдений с использованием искусственной нейронной сети* предлагается анализировать влияние поочередного удаления каждого из наблюдений, перезапуская процесс обучения, и наблюдая за его характеристиками. На основании данного анализа возможно выявить те наблюдения, которые не соответствуют общей закономерности. При обосновании такого подхода автор ссылается на известную группу методов «анализа удаленных остатков», используемую в регрессионном анализе для выявления аномалий, основанную на схожем принципе. Действительно, нейросетевая модель, являющаяся, по сути аппроксимацией регрессионной модели с соответствующей структурой. При этом механизмы построения регрессионной модели и обучения нейронной сети имеют схожий принцип минимизации отклонений модельных значений от фактических, а также обладают схожим поведением и свойствами. Поэтому можно считать вполне обоснованной идею автора использовать методы, применяемые в регрессионном анализе, для нейросетевых моделей. В исследовании наглядно продемонстрировано, что на обучающем множестве с меньшим количеством аномальных наблюдений, скорость сходимости предложенного автором алгоритма обучения нейронной сети лучше.

*Метод вычисления информативности входных параметров, посредством анализа нейросетевой модели* предназначен для определения относительной информативности каждого из входных параметров, что полезно при проектировании, анализе и оптимизации нейросетевой модели. В обосновании данного метода используется тот факт, что удаление из обучающего множества параметра с высокой долей информативности ведет к увеличению величины погрешностей ИНС, обученных на данном множестве. Это объясняется уменьшением доступной для извлечения информации на величину пропорциональную информативности удаленного параметра. В работе приведен обзор нескольких методов вычисления информативности входных параметров, также основанных на данном принципе, но отличающихся способом исключения анализируемого параметра: исключение соответствующего столбца из набора данных, добавление к значениям белого шума различной интенсивности или замена на случайные значения.

*Метод настройки специфичности и чувствительности нейросетевых моделей* предлагает способ получения нейросетевых моделей, которые в большей степени учитывают ошибки первого или второго рода. Метод заключается в применении параметризованной функции вычисления ошибки, которая позволяет изменять веса ошибок первого или второго

рода во время процесса обучения, и тем самым получить модель с требуемыми характеристиками. Обоснованность данного метода объясняется тем, что величина ошибки, вычисляемая во время процесса обучения, используется для расчета изменения весовых коэффициентов модели, при этом величина изменения прямо пропорциональна величине ошибок. Предлагаемая в работе модификация функции вычисления ошибки позволяет отдельно задавать коэффициенты масштабирования для отрицательных и положительных значений ошибки. При этом, как было сказано выше, ошибки с большим весом более сильно влияют на изменение весовых коэффициентов, что ведет к изменению приоритета обучения в сторону более быстрого снижения погрешности для примеров с вычисленной ошибкой, относящейся к классу, для которого задан больший коэффициент масштабирования. Работоспособность метода показана на примере обучения нейросетевой модели с заданным уровнем специфичности.

*Метод экспертной коррекции результатов нейросетевого прогнозирования* предназначен для снижения погрешности результатов прогнозирования развития процессов с использованием ИНС. На первом шаге предлагается применять обученную нейросетевую модель, одним из параметров которой является продолжительность моделируемого процесса. Первичная оценка прогноза выполняется путем увеличения значения данного параметра, что является стандартным приемом изучения нейросетевых моделей. Указывается, однако, что данный метод может давать высокую погрешность при моделировании сложных процессов, ввиду наличия в них скрытых внутренних факторов, также изменяющихся с течением времени. Для учета влияния изменения данных скрытых факторов на втором шаге предлагается использовать подтвержденные экспертные знания о развитии во времени рассматриваемого типа процессов. Таким образом данный метод объединяет результаты прогнозирования при помощи нейросетевой модели, учитывающей параметры конкретного процесса, и экспертную информацию об общих особенностях развития исследуемого типа процессов. Результаты, численных экспериментов показали устойчивое повышение точности скорректированных результатов относительно прогноза с применением одной только нейросетевой модели.

*Метод скользящего окна* также служит для снижения погрешности результатов прогнозирования процессов во времени, однако предлагает использование специальной процедуры формирования обучающей выборки на основании множества наблюдений, которое содержит данные о протекании во времени моделируемого класса процессов. ИНС, обученная на такой выборке, учитывает как конкретные параметры, влияющие на процесс, так и информацию об общих особенностях данного класса процессов и особенностях их развития во времени. При этом

прогнозирование выполняется путем увеличения значения параметра, кодирующего время, полученной нейросетевой модели. Точность прогнозирования с применением данного метода сравнивалась с результатами, полученными с помощью метода экспертной коррекции, описанного выше. Сравнение показало большую точность прогнозирования при применении метода окна. Это поясняется тем, что при использовании метода скользящего окна учитываются индивидуальные параметры каждого процесса, что, однако, требует сбора более большого объема данных для обучения.

#### **Достоверность и новизна положений, выводов и рекомендаций**

В четвертой главе описаны процедуры проверки работоспособности представленных в рамках работы методов, а также их сравнительный анализ. Также проверялась работоспособность нейросетевой рекомендательной системы, которая включает реализацию всех предложенных методов. Кроме того, в главе приводится обоснование выбора показателей эффективности и описание множества данных, используемого при обучении нейросетевых моделей, а также для проведения тестов и сравнительного анализа.

*Метод выявления аномальных наблюдений с использованием ИНС* использует идею анализа удаленных остатков, применяемого для выявления аномальных наблюдений в регрессионном анализе. Новизна предлагаемого метода заключается в применении нейросетевой модели вместо регрессионной. Данный метод сравнивался с несколькими методами обнаружения аномалий, в том числе с методом DFFITS, который также базируется на идее анализа удаленных остатков. Сравнение производилось путем вычисления погрешности нейросетевой модели, обученной на полном наборе данных с погрешностями нейросетевой модели, обученной на множестве с удаленными аномальными наблюдениями, каждым из методов. Сравнение производилось для нескольких наборов данных. Результаты показали, что лучшие результаты достигаются при использовании предложенного в работе метода.

Разработка данного метода соответствует пункту 12 «Визуализация, трансформация и анализ информации на основе компьютерных методов обработки информации» паспорта специальности 05.13.01 ВАК РФ.

*Метод вычисления информативности входных параметров, посредством анализа нейросетевой модели* относится к группе методов, которые анализируют изменение показателей процесса обучения при поочередной замене значений параметров значениями, отличными от первоначальных. Новизна предложенного метода заключается в способе замены значений параметров. Данный метод сравнивался как с классическими методами вычисления силы зависимости переменных, так и

с наиболее эффективными методами вычисления информативности входных параметров нейросетевой модели. Сравнение проводилось на искусственно созданном множестве наблюдений, с известными уровнями информативности каждого из параметров. Сравнение показало преимущество нейросетевых методов вычисления информативности, при том, что классические методы не всегда выдавали удовлетворительные результаты. Дальнейшее сравнение проводилось на наборе реальных данных, у которого неизвестна информативность каждого из параметров, но с применением специально разработанной процедуры, основанной на оценке показателей эффективности. Данная процедура показала, что предлагаемый в работе метод имеет большую точность вычисления информативности входных параметров при анализе сложных нелинейных зависимостей.

Разработка данного метода соответствует пункту 12 «Визуализация, трансформация и анализ информации на основе компьютерных методов обработки информации» паспорта специальности 05.13.01 ВАК РФ.

*Метод настройки специфичности и чувствительности нейросетевых моделей отличается* способом получения нейросетевых моделей с заданным уровнем соответствующих характеристик. В данной работе предлагается использовать специальную функцию вычисления ошибки, используемой в алгоритмах обучения ИНС с учителем. Достоверность метода подтверждается демонстрацией его успешного применения при решении задачи получения нейросетевой модели экспресс-диагностики заболевания «Инфаркт миокарда» с требуемым уровнем специфичности. Также эффективность данного метода была сопоставлена с результатами, получаемыми путем сдвига порога классификации. Показано, что при равном фиксированном уровне специфичности модель, полученная предложенным в работе способом, имеет большую чувствительность, и, в итоге, меньшую общую погрешность диагностирования.

Разработка данного метода соответствует пункту 5 «Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации» паспорта специальности 05.13.01 ВАК РФ.

*Новизна метода экспертной коррекции результатов нейросетевого прогнозирования* заключается в процедуре формирования прогнозов. Используется процедура получения прогноза посредством увеличения параметра, кодирующего продолжительность процесса, нейросетевой модели с последующим уточнением на основании обобщенных знаний о развитии данного класса процессов. Сравнение метода нейросетевого прогнозирования (с увеличением параметра, кодирующего продолжительность процесса) и прогнозирования с применением

предложенного метода на специальном тестовом множестве показало работоспособность и более высокую точность последнего.

Разработка данного метода соответствует пункту 5 «Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации» паспорта специальности 05.13.01 ВАК РФ.

*Метод скользящего окна* также служит для снижения погрешности результатов прогнозирования процессов во времени. Новизна метода заключается в использовании особым образом сформированного обучающего множества, которое учитывает не только индивидуальные особенности моделируемого процесса на текущий момент, но и их влияние на изменение параметров процесса во времени. Сравнительный анализ показал большую точность по сравнению с методом экспертной коррекции, что объясняется более полным учетом влияния индивидуальных параметров процесса на его развитие во времени, при использовании данного метода прогнозирования.

Разработка данного метода соответствует пункту 5 «Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации» паспорта специальности 05.13.01 ВАК РФ.

Разработанные методы были использованы при создании нейросетевой рекомендательной системы для диагностики и прогнозирования степени развития заболеваний сердечно-сосудистой системы человека. Работоспособность и эффективность системы подтверждается результатами вычислений на искусственных наборах данных; результатами вычислений на реальных наборах данных с оценкой величины погрешности; результатами внедрения системы в ГАУЗ «Городская клиническая больница № 4» города Перми, о чем свидетельствует соответствующий акт, представленный в приложении к работе.

### **Значимость для науки и практики выводов и рекомендаций диссертационного исследования**

Значимость выводов и рекомендаций диссертационного исследования для науки составляют разработанные методы повышения эффективности нейросетевых рекомендательных систем: метод выявления аномальных наблюдений, метод вычисления информативности входных параметров, метод настройки специфичности и чувствительности нейросетевых моделей, методы повышения точности прогнозирования с использованием экспертных знаний и с использованием скользящего окна.

Значимость результатов диссертационного исследования для практики состоит в следующем:

- разработан алгоритмы и программный код предложенных методов;
- разработана нейросетевая рекомендательная система для диагностики и прогнозирования степени развития заболеваний сердечно-сосудистой системы человека;
- получены результаты сравнения разработанных методов.

#### **Соответствие диссертационной работы требуемым критериям**

1) Диссертационная работа Черепанова Ф.М. является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи построения эффективных нейросетевых систем в условиях ограниченных объемов выборок со сложными корреляционными связями. Решение данной задачи имеет значение для развития информационных технологий и вычислительной техники.

2) Диссертационная работа выполнена самостоятельно, проверка при помощи системы «Антиплагиат.Вуз» не выявила некорректных заимствований. Изложение материала логично и последовательно, работа обладает внутренним единством. В работе представлены новые научные результаты и положения, что свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку;

3) Практическое использование полученных Черепановым Ф.М. научных результатов отражено в пяти свидетельствах о государственной регистрации программ для ЭВМ: № 2014618208 «Нейросимулятор 5.0», № 2014618207 «Дифференциальная диагностика заболеваний сердечно-сосудистой системы (НСМ)», № 2015618984 «Программный комплекс «Е-Эскулап». Нейросетевой модуль диагностики состояния сердечно-сосудистой системы человека», № 2015618985 «Программный комплекс «Е-Эскулап». Модуль обработки анкет пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями», № 2017662410 «Нейро-экспертная система диагностики и прогнозирования рисков сердечно-сосудистых заболеваний». Копии указанных свидетельств содержатся в приложениях к работе. Также получен акт о внедрении результатов диссертационной работы в ГАУЗ «Городская клиническая больница № 4» города Перми, в отделении острого коронарного синдрома, подтверждающий работоспособность и эффективность разработанной системы;

4) Предложенные автором диссертационной работы методы аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями. Показатели эффективности разработанной нейро-экспертной системы сравнивались с показателями врача-эксперта. При этом чувствительность разработанной системы составила от 87 до 64 %

относительно результатов, полученных врачами на основании дополнительных лабораторных и инструментальных исследований;

5) Основные научные результаты диссертационной работы опубликованы в 22 печатных работах, в том числе: 6 статей в журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, 4 статьи в журналах, индексируемых в международной базе Scopus. Также по теме работы опубликованы 7 тезисов и 5 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ;

6) Соискатель Черепанов Ф.М. ссылается на авторов и источники заимствования материалов и отдельных результатов. Результаты, полученные в соавторстве, имеют соответствующую отметку и ссылки на совместные публикации.

Таким образом рассматриваемое исследование соответствует требованиям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук.

#### **Достоинства диссертационной работы**

1. Высокий уровень актуальности теоретических исследований, состоящий в развитии нейросетевых технологий;
2. Ширина проработки вопроса, включающая разработку нескольких методов повышения эффективности нейросетевых систем, а также проведенное исследование эффективности их совместного применения;
3. Внутреннее единство работы, последовательность и грамотная структура изложения материала.

#### **Недостатки диссертационной работы**

1. На стр. 43 диссертационной работы перечислены возможные способы выявления аномального примера путем анализа результатов его работы, однако не приводится описание конкретных процедур;
2. В недостатках метода выявления аномальных наблюдений указывается большая вычислительная сложность реализующих его алгоритмов, однако при сравнении с другими методами обнаружения аномалий данная характеристика не учитывается;
3. На стр. 78 названия части программных классов имеет подчеркивание, а другая часть нет, при этом из текста или контекста не ясно чем обусловлено данное выделение;
4. На стр. 84 не указано на основании чего было выбрано соотношение 78 %, 15 % и 7 % при разделении множества наблюдений на обучающее, тестирующее и подтверждающее.

Следует отметить, что обозначенные выше недостатки не влияют на основные теоретические и практические результаты работы.



### Выводы и заключение

Диссертация на тему «Методы повышения эффективности нейросетевых рекомендательных систем в условиях ограниченных объемов выборок со сложными корреляционными связями (на примере диагностики и прогнозирования сердечно-сосудистых заболеваний человека)» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой решена важная научная задача в области разработки специального математического и алгоритмического обеспечения систем поддержки принятия решений и обработки информации. Автор диссертационной работы, Черепанов Федор Михайлович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (технические и информационные системы).

Отзыв составлен: 05.09.2019 г.

Доцент кафедры «Вычислительная математика, механика и биомеханика»,  
ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», кандидат физико-математических наук,

Клюев Андрей Владимирович

Раб. тел: +7 (342) 2391607, 23914

e-mail: [kav@gelicon.biz](mailto:kav@gelicon.biz)

Подпись Клюева А.В. заверяю:  
Ученый секретарь Ученого совета  
ФГБОУ ВО ПНИПУ, к.и.н.

Макаревич В.И.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (ПНИПУ), 614990, Пермский край, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29