



СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ

ЭКЗ. _____

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет «ЛЭТИ» им.
В.И. Ульянова (Ленина)»
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)

ул. Профессора Попова, д.5 литера Ф,
Санкт-Петербург, 197022
Телефон: (812) 234-46-51; факс: (812) 346-27-58;
e-mail: info@etu.ru; <https://etu.ru>
ОКПО 02068539; ОГРН 1027806875381
ИНН/КПП 7813045402/781301001

УТВЕРЖДАЮ

проректор по научной работе

СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

д.т.н., проф. В.А. Тупик

«21» *апреля* 2022 г.

№ _____

На № 60/01-09-300 от 7 апреля 2022

ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»

на диссертацию Милосердова Дмитрия Игоревича «Модели, методы и архитектуры
программных систем нейросетевого прогнозирования трудноформализуемых
событий с непрерывным обучением», представленную на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности 2.3.5 – «Математическое и
программное обеспечение вычислительных систем, комплексов
и компьютерных сетей»

1. Актуальность темы

Получение прогнозов в условиях, когда на исследуемый процесс влияет множество неявно связанных факторов и когда законы протекания таких процессов переменны во времени, представляет значительный интерес в различных областях. Задачи по управлению транспортом, экономикой, финансами, социальной сферой, сложными техническими объектами невозможно эффективно решать без получения

точной и своевременной информации о ближайшем будущем, что определяет важность и значимость решаемой научной задачи. Известные подходы по прогнозированию трудноформализуемых событий не всегда адекватны предъявляемым к ним требованиям. Традиционные аналитические модели зачастую не обеспечивают необходимой глубины и горизонта прогнозирования, нейросетевые подходы на основе нейронных сетей прямого распространения требуют переподготовки при изменении закономерностей протекания наблюдаемых процессов. Подходы, объединяющие в себе компоненты традиционных и эвристических методов, вычислительно сложны и зачастую ориентированы на конкретные условия. Требуются подходы прогнозирования с непрерывным обучением, способные не только извлекать информацию о закономерностях проявления событий из больших массивов данных, но и оперативно учитывать изменения этих закономерностей.

Отсюда непосредственно вытекает актуальность темы диссертации, посвященной проблеме разработки моделей, методов и архитектур программных систем нейросетевого прогнозирования трудноформализуемых событий с непрерывным обучением.

2. Научная новизна и достоверность результатов

Основными научными результатами, обладающими научной новизной и характеризующими личный вклад автора, является разработка:

– модели системы нейросетевого прогнозирования трудноформализуемых событий с непрерывным обучением, отличающейся своей структурой и правилами обработки сигналов, обеспечивающими оперативное прогнозирование с учетом изменений в законах проявления событий. Предложенная модель содержит блок управления прогнозированием и две идентичные по своей структуре рекуррентные нейронные сети (РНС-1 и РНС-2), объединенные в систему. РНС-1 работает в режиме обучения, блок управления прогнозированием выполняет копирование обученной пространственно-временной модели событий из РНС-1 в РНС-2, а РНС-2 реализует прогнозирование. Предложенная модель обеспечивает непрерывность процесса обучения при прогнозировании. Это позволяет обеспечить работу в реальном времени и возможность постоянного формирования прогнозов с учетом изменяющихся законов поведения временных рядов. Отсутствует необходимость переобучения сети при поступлении новых данных. Исключается искажение пространственно-временной модели РНС из-за смены режимов ее функционирования;

– методов нейросетевого прогнозирования трудноформализуемых событий с непрерывным обучением: с временными сдвигами сигналов и без временных сдвигов сигналов, отличающихся новыми правилами прогнозирования и управления

ассоциативным вызовом информации из нейросетевой памяти и обеспечивающих высокую точность получаемых прогнозов трудноформализуемых событий. Согласно методу с временными сдвигами, на вход РНС-1 подаются текущий и задержанный временные ряды. В процессе их прохождения вдоль слоев сети осуществляется ассоциативное пространственно-временное связывание прошлых и будущих событий. Блок управления прогнозированием копирует обученную модель из РНС-1 в РНС-2 и подает текущие входные данные в задержанный канал. В результате в текущем канале за счет вызова сигналов из ассоциативной памяти формируется прогноз будущих событий. В методе прогнозирования без временных сдвигов на вход РНС-1 подается текущий временной ряд. При прохождении его по сети на ее элементах формируется модель событий, которая постоянно обновляется с учетом вновь поступающих данных. Блок управления прогнозированием копирует состояние РНС-1 в РНС-2 и запускает РНС-2 на формирование прогнозов по новым правилам, предусматривающим управление направленностью ассоциативного вызова сигналов из памяти нейронной сети. Согласно этим правилам, если обрабатываемая выборка признается короткой, то перед прогнозированием предлагается удлинить ее за счет ассоциативного вызова из памяти сети предшествующих значений;

– параллельной и буферной архитектур программных систем, отличающихся новой структурой и правилами функционирования программных систем прогнозирования с непрерывным обучением, обеспечивающих программную реализацию предложенных моделей и методов и расширение их функций. В параллельной архитектуре эмулируется оба экземпляра нейронных сетей (РНС-1 и РНС-2). Буферная архитектура предполагает наличие только одного экземпляра (модуля) нейронной сети (РНС-1), называемого модулем эмуляции РНС-1 и РНС-2, а также входного буфера и модуля памяти для хранения состояний нейронов РНС-2. Новизна буферной архитектуры состоит в отказе от выделения памяти для хранения синапсов РНС-2, в выполнении квазипараллельного обучения и прогнозирования, а достигаемый эффект заключается в сокращении объемов требуемой памяти в общем случае в два раза;

– практических рекомендаций по повышению точности и использованию программных систем нейросетевого прогнозирования трудноформализуемых событий с непрерывным обучением, обеспечивающих повышение точности прогнозов за счет определения наиболее эффективной конфигурации нейросетевых слоев применительно к задаче прогнозирования трудноформализуемых событий и разработки новых правил выбора метода и архитектуры в зависимости от условий, в которых функционирует система прогнозирования.

3. Степень обоснованности научных положений и полученных результатов

Степень обоснованности научных положений, выводов и полученных результатов обеспечена анализом текущего уровня исследований в данной области, корректным использованием апробированного математического аппарата, согласованностью теоретических выводов с результатами вычислительных экспериментов, сравнением предложенных решений с известными аналогами и одобрением основных положений диссертационной работы на международных и всероссийских научных конференциях.

4. Значимость полученных автором диссертации результатов для развития соответствующей отрасли науки

Значимость полученных автором диссертации результатов для развития соответствующей отрасли науки заключается в развитии научно-методического аппарата прогнозирования трудноформализуемых событий рекуррентными нейронными сетями с непрерывным обучением, а также в возможности повысить точность прогнозов возможных событий для различных приложений в условиях слабо формализуемых процессов с учетом большого числа неявно связанных факторов.

5. Апробация, публикации и внедрение полученных результатов

Основные положения диссертационной работы представлялись на 6 международных конференциях «Digital Transformation And Global Society (DTGS-2019)» (Санкт-Петербург, 19-21 июня 2019 г.), «Experimental Economics and Machine Learning (EEML-2019)» (Пермь, 25-26 сентября 2019 г.), 5-я Международная научно-практическая конференция «Технологическая перспектива-2019» (Санкт-Петербург, 7-8 ноября 2019 г.), «Digital Transformation And Global Society-2020» (Санкт-Петербург, 17-19 июня 2020 г.), 6-я Международная научно-практическая конференция «Технологическая перспектива-2020» (Санкт-Петербург, 12-13 ноября 2020 г.), 7-я Международная научно-практическая конференция «Технологическая перспектива-2021» (Санкт-Петербург, 11-12 ноября 2021 г.) и всероссийской конференции «Информационные технологии в управлении» (ИТУ-2020) (Санкт-Петербург, 7-8 октября 2020 г.).

Результаты диссертационной работы использованы в НИР СПб ФИЦ РАН №0073-2019-0001 «Теоретические основы и алгоритмические модели когнитивного управления, взаимодействия и анализа состояния групп гетерогенных робототехнических комплексов», а также в ЦСАМ АО «НТЦ РЭБ» при проведении научных исследований по обнаружению и траекторному сопровождению малоразмерных беспилотных летательных аппаратов для прогнозирования радиолокационной обстановки и выявления аномальных радиосигналов.

По научным результатам диссертационного исследования опубликовано 12 работ, в том числе 2 публикации в журналах из «Перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук», одна из статей в указанном перечне опубликована без соавторов, 5 публикаций в зарубежных изданиях, индексируемых в Scopus/WoS (в том числе 2 публикации в журналах Q1), два свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ, одно из которых зарегистрировано без соавторов.

6. Рекомендации по использованию результатов и выводов.

Предложенные модели, методы и программные архитектуры могут найти применение в перспективных интеллектуальных системах управления и поддержки принятия решений.

В качестве рекомендаций для дальнейшей разработки темы предлагается введение подходов активного обучения, усовершенствование алгоритмов предобработки и постобработки данных для более эффективного использования потенциала нейронных сетей, а также разработка методов автоматического определения глобальных параметров РНС.

Основные результаты работы и перечисленные достоинства позволяют сделать вывод о практической значимости работы и рекомендовать для внедрения в следующих организациях: АО «Интеллектуальные системы», АО «Центр прототипирования и внедрения отечественной робототехники», ЧОУ ВО «Санкт-Петербургский институт экономики и управления», ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта».

7. Замечания к диссертации

Диссертация не лишена некоторых недостатков, среди которых необходимо отметить:

1. В диссертации не представлены формальные критерии «трудноформализуемых» событий;
2. Не сформулирована общая математическая модель решения задачи прогнозирования «трудноформализуемых» временных рядов;
3. В работе упоминается использование предлагаемых методов для прогнозирования временных рядов малой длины, при наличии шумов, пропусков и недостоверной информации, однако нет четкого описания этих дефектов и того, как предлагаемая система осуществляет обработку таких рядов;
4. В работе имеются недостатки редактирования и технического оформления, имеют место отдельные опечатки, неоднозначности, тяжело сформулированные фразы.

Приведенные замечания не снижают общего впечатления от проделанной работы и значимости представленных результатов.

8. Заключение

Диссертационная работа Милосердова Дмитрия Игоревича является завершенной научной и квалификационной работой, содержащей законченное решение актуальной научной задачи разработки моделей, методов и архитектур программных систем нейросетевого прогнозирования трудноформализуемых событий с непрерывным обучением.

Основное содержание работы, выводы и результаты диссертационных исследований в достаточной степени отражены в автореферате. Автореферат полностью соответствует диссертационной работе и содержит все необходимые составляющие.

Диссертация Д.И. Милосердова отвечает требованиям пунктов 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842 (в редакции Постановления Правительства Российской Федерации от 11.09.2021 № 1539), а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.5 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей».

Настоящий отзыв на диссертационную работу Д.И. Милосердова рассмотрен и утвержден на заседании кафедры математического обеспечения и применения ЭВМ СПбГЭТУ «ЛЭТИ», присутствовало _ человека, протокол № 4 от «19» апреля 2022 г.

Отзыв составил: ученый секретарь кафедры математического обеспечения и применения ЭВМ, к.т.н.

_____ Заславский Марк Маркович

«21» апрель 2022 г.

Профессор кафедры математического обеспечения и применения ЭВМ, д.т.н., профессор

_____ Кухарев Георгий Александрович

Заведующий кафедрой математического обеспечения и применения ЭВМ, к.т.н., доцент

_____ Кринкин Кирилл Владимирович