

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы  
Борислава Алексеевича Староверова «Теоретическое обоснование и практическая реализация систем прогнозирования электропотребления на основе ансамблей нейронных сетей в масштабе региональной сетевой компании», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

В связи с многоплановостью решаемых технико-экономических задач региональными электросетевыми и электробытовыми компаниями возникает необходимость качественного и точного прогнозирования электропотребления на различную перспективу. Для этого внедряются современные компьютерные технологии, обладающие значительным повышением вычислительных мощностей, наличием высокоскоростных каналов связи.

Кроме того, на объектах электроэнергетики появляются цифровые подстанций, системы искусственного интеллекта, позволяющие вывести решение задач прогнозирования потребления электроэнергии на новый уровень, расширить область применения систем прогнозирования в масштабах региональной сетевой компании для управления экономической эффективностью закупки и распределения электрической энергии.

Таким образом, создание высокоточных научно обоснованных систем прогнозирования электропотребления, применимых к различным графикам нагрузки и видам прогнозов остается актуальной проблемой.

**Научная новизна** заключается в разработке теоретической основы построения систем прогнозирования электропотребления в виде ансамбля искусственных нейронных сетей, а именно:

1. Разработана оригинальная концепция построения ансамбля, имеющего иерархическую структуру и отличающаяся тем, что ансамбль формируется из эффективных нейронных сетей, выходные сигналы нижнего уровня (метаданные) которых используются для обучения нейросетей следующего уровня, которые, в свою очередь, реализуют мета алгоритм, компенсирующий погрешности прогнозов отдельных нейросетей.

2. Обоснована методика синтеза эффективных нейронных сетей, отличающаяся тем, что:

– оценка аппроксимирующих возможностей нейронных сетей осуществляется с помощью полученных выражений функциональной связи между входными и выходными переменными сети;

– определение состава динамических переменных входных векторов для краткосрочного, среднесрочного и долгосрочного прогнозирования осуществляется методом авторегрессионной аппроксимацией ретроспективных данных, получаемых от средств технического учета электроэнергии;

– синтез структур эффективных нейронных сетей производится путем определения соотношения между объемом обучающей выборки и числом настраиваемых коэффициентов, которые отличаются тем, что в результате избыточного числа нейронов в скрытых слоях обеспечивается применимость их к графикам потребления электроэнергии различной конфигурации.

3. Разработана методика синтеза ансамблей в соответствии с предложенной концепцией из эффективных нейронных сетей в виде иерархической структуры типа стэкинга, отличающаяся тем, что нейронные сети для ансамбля отбираются на основе попарного сравнения по двум критериям: по критерию, определяющему минимальную корреляцию графиков прогнозирования отдельных нейросетей и по критерию максимально возможной компенсации взаимной погрешности этих прогнозов.

**Практическая значимость** диссертации определяется тем, что

1. Получена структура системы технического и коммерческого учета электроэнергии с расширенными функциональными возможностями «предсказания» загрузки электросетей и реализации упреждающего управления, которые обеспечиваются подсистемой прогнозирования.

2. Определен состав входных векторов, типы, структуры и технология обучения наиболее эффективных нейронных сетей, имеющих минимально возможные погрешности аппроксимации, как для самостоятельного использования, так и в составе ансамблей.

3. Сформированы ансамбли нейронных сетей для систем краткосрочного и среднесрочного прогнозирования электропотребления, обеспечивающих уменьшение величин погрешностей прогнозирования на 20-80% по сравнению с одиночными нейронными сетями.

4. Разработаны алгоритмы отбора эффективных нейронных сетей и формирования ансамблей на их основе, а также программное обеспечение, реализующее эти алгоритмы, с использованием библиотеки искусственных нейронных сетей Fast Artificial Neural Network (FANN), имеющие необходимый набор нейронных сетей и сервисных функций, которые позволяют автоматизировать процессы синтеза системы для различных видов прогнозирования электропотребления

5. Разработан алгоритм принятия решений на основе использования систем прогнозирования при покупке и продаже электроэнергии на ФОРЭМ.

6. Установлены взаимосвязи между иерархическими уровнями АИИС КУЭ и функциями системы поддержки принятия управленческих решений на основе прогнозирования электропотребления, что позволяет строить интеллектуальные информационно-измерительные системы необходимого масштаба и интегрировать их с другими подсистемами АСУ электросетей.

**Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций**, сформулированных в диссертации, обеспечивается использованием апробированных методов расчета установившихся режимов электрических сетей и эффективных алгоритмов оптимизации, значительным объемом экспериментальных исследований, корректностью обработки полученных результатов и их статистической значимо-

стью. Совпадение результатов численных экспериментов и инструментальных измерений на действующих объектах подтверждает достоверность представленных в диссертации научных и практических положений.

**Достоверность научных результатов** и положений определяется применением широко используемых и апробированных методов решения научных задач, корректностью применения математического анализа и математических выводов, методов теории машинного обучения и моделирования, а также обоснованной методикой постановки экспериментов, отбора и обработки экспериментальных данных, сходимостью теоретических выводов и экспериментальных результатов.

По автореферату имеются следующие **замечания**.

1. В тексте реферат недостаточно полно описана структура исходной базы по электропотреблению для прогнозирования на различную перспективу.

2. Из текста автореферата не ясно, за счёт чего достигается наименьшая ошибка прогноза электропотребления на долгосрочную перспективу.

**Отмеченные недостатки не снижают** довольно высокий научный уровень диссертации. Поэтому считаю, что рассматриваемая диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор Борислав Алексеевич Староверова **достоин** присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

**Отзыв составил:** начальник технопарка  
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,  
кандидат технических наук

«01» 12 2023 г.

Александр Алексеевич Меркулов

**Почтовый адрес:** 236022, Северо-Западный федеральный округ, Калининградская обл., г. Калининград, Советский проспект, д. 1. тел: +7 (4012) 99-59-01,  
e-mail: vsmcenose@mail.ru.

**Полное наименование организации:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Калининградский государственный технический университет».

**Подпись к.т.н., Александра Алексеевича Меркулова заверяю:**

Проректор по научной работе ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», кандидат физико-математических наук, доцент

«01» 12 2023 г.

Наталья Анатольевна Кострикова

