

ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата технических наук, доцента
Вялковой Светланы Александровны на диссертационную работу
Качелаева Олега Вадимовича на тему: «Разработка метода прогнозирования и управления комплексными энергетическими сетями на основе интеллектуального анализа данных», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки)

1. Актуальность темы диссертации

Цифровая трансформация энергетики, основанная на концепции Smart Grid, требует принципиально новых подходов к прогнозированию, обработке больших данных и управлению энергосетями. Особую сложность представляет анализ «зашумленных» и неполных данных от потребителей с аддитивным профилем, где традиционные методы малоэффективны. Разработка нейросетевых моделей становится критически важной для обеспечения точности прогнозирования потребления электроэнергии.

Таким образом, актуальность диссертационной работы обуславливается ее направленностью на повышение точности прогнозирования электроэнергии, путем создания прототипа системы поддержки принятия решений (СППР), способной обрабатывать разнородные данные, управлять обучением нейросетей и прогнозировать электропотребление.

2. Оценка содержания и структуры работы

Во введении обоснована актуальность темы диссертации и указана степень ее разработанности. Сформулированы цели и задачи работы. Представлены основные научные результаты, их теоретическая и практическая значимости. Кратко изложено основное содержание диссертации.

В первой главе проанализировано влияние аномалий во входных данных на точность нейросетевого прогнозирования электропотребления. Экспериментально подтверждено, что пропуски и провалы в данных ухудшают точность прогнозов на 3–9%, что неприемлемо для практического применения. Выполнена обработка временного ряда электропотребления методами кластеризации, сглаживания и нормализации. По итогам сравнения способов прогнозирования был сделан вывод о том, что без учета внешних факторов достижение точности выше 97% невозможно.

Во второй главе приводится разработка алгоритмов нейросетевого прогнозирования и обучения, направленных на оптимизацию электропотребления. Основное внимание уделено модификации метода прогнозирования для потребителей с аддитивным характером нагрузки. Проведено усовершенствование модели путем введения и эмпирического подбора размера скользящего окна, что позволило обеспечить погрешность прогноза менее 5%. Определены структурные гиперпараметры НС, подходящие для решения задачи прогнозирования ЭП. Кроме того, в главе представлена модификация алгоритма обратного распространения ошибки для повышения сходимости нейросети. Результаты экспериментального исследования показали, что применение алгоритма скользящего окна обеспечивает прирост точности прогнозирования в среднем на 4%. Однако анализ выявил ограничения классических методов, которые эффективны лишь для циклических профилей нагрузки, но не работают на аддитивных данных. Для решения этой задачи предложена модификация сети прямого распространения, адаптированная для работы с авторегрессионным методом. Ключевым усовершенствованием стала замена квадратичной функции потерь на робастную, что позволило модифицировать алгоритм обратного распространения ошибки и существенно снизить чувствительность модели к выбросам в зашумленных данных.

В третьей главе рассматривается метод решения задачи синтеза архитектуры НС на основе нейроэволюционного метода. Описывается разработка генетического алгоритма настройки структуры НС модели для прогнозирования электропотребления аддитивных потребителей. Предложен модифицированный гибридный алгоритм для синтеза архитектуры НС.

Экспериментальная оценка подтвердила, что разработанный алгоритм синтеза нейросетей автоматизирует обучение, сокращает время подбора гиперпараметров и повышает точность

прогнозирования для аддитивных потребителей. Эффект достигается за счет обучения особей на малом количестве эпох и финализации только лучшей архитектуры.

В четвертой главе проведена оценка эффективности предложенных нейросетевых моделей и алгоритмов в задачах прогнозирования электропотребления. Экспериментально подтверждена устойчивость разработанной архитектуры к аномалиям данных благодаря использованию робастной модификации алгоритма обратного распространения ошибки. Исследование на данных четырех подстанций, три из которых имеют аддитивный характер нагрузки, показало, что применение функции потерь Хьюбера снижает ошибку прогнозирования на 6–7% по сравнению с классической MSE. Также подтверждена эффективность метода скользящего окна для аддитивных потребителей и возможность автоматизации подбора гиперпараметров с помощью генетического алгоритма без потери качества обучения.

В пятой главе представлена разработка системы поддержки принятия решений (СППР), интегрированной в контур управления SCADA. Описаны архитектура системы, модель данных и логика принятия решений на основе принципов ограниченной рациональности, позволяющая находить удовлетворительные решения в условиях неполноты информации. Предложена структурная схема управления интеллектуальной энергосистемой, реализующая планово-упреждающее управление по данным нейросетевого оценивания электропотребления от интеллектуальных счетчиков. Для апробации разработанных алгоритмов создан симулятор, выполняющий прогнозирование объемов потребления и визуализацию результатов в интерфейсе СППР.

В заключении изложены итоги выполненного исследования, рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы.

В приложении представлены: свидетельства о регистрации и листинги основных модулей программы, копии актов о внедрении результатов работы.

3. Научная новизна полученных результатов.

Основными результатами работы, представляющие научную новизну следующие:

1. Предложен метод обработки данных с интеллектуальных счетчиков, основанный на комбинации скользящего среднего для сглаживания выбросов и кластеризации k-средних для устранения аномалий, что повышает устойчивость прогностических моделей.

2. Разработан метод прогнозирования электропотребления с использованием скользящего окна, адаптирующий пошаговую авторегрессию для аддитивных потребителей с экспериментально подобранным размером окна, обеспечивая высокую точность при простой структуре сети.

3. Предложен метод синтеза структуры нейросети на базе модифицированного генетического алгоритма с первичным тестированием на малом числе эпох, что сокращает время подбора гиперпараметров и повышает точность прогнозирования на 6 – 7%.

4. Разработан алгоритм прогнозирования, интегрирующий предложенные методы обработки данных и прогнозирования, что позволило достичь точности более 97% для аддитивных потребителей.

5. Создана система поддержки принятия решений (СППР), объединяющая в едином комплексе разработанные методы обработки, обучения, прогнозирования и визуализации для повышения качества информационной поддержки управления в энергосистемах.

4. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Степень обоснованности и достоверности полученных в данной диссертационной работе результатов научных исследований подтверждается использованием современных и классических методов компьютерного моделирования, систематическим сопоставлением результатов, полученных соискателем с требуемой точностью в соответствии с действующими постановлениями Правительства РФ, а также подтверждается воспроизводимостью экспериментальных данных с другими авторами. Выводы и рекомендации, сделанные автором, логично вытекают из полученных результатов, приведенных в таблицах и на рисунках диссертации и автореферата.

5. Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость работы обусловлена, тем, что содержащиеся в ней результаты теоретических исследований могут быть использованы при разработке устройств мониторинга,

прогнозирования, и поддержки принятия решений. В частности, методов и алгоритмов прогнозирования потребления электроэнергии, внедрение которых в опытную эксплуатацию позволит снизить погрешность прогнозирования ЭП, и как следствие снизить финансовые издержки при оптовой закупке ЭЭ.

Практическая значимость работы, заключается в создании прототипа программного комплекса СППР для обработки данных и прогнозирования электропотребления на основе предложенных методов и алгоритмов. Внедрение разработанного комплекса позволяет автоматизировать обработку данных и формирование выборок, синтезировать прогнозные модели, адаптированные под конкретного потребителя, и обеспечивать точность прогнозирования не менее 97% с визуализацией результатов.

Разработанные решения рекомендованы к внедрению в деятельность энергокомпаний и промышленных предприятий для оптимизации процессов планирования и распределения электроэнергии.

Результаты исследования внедрены в опытную эксплуатацию ПАО «Россети ЮГ»-«Ростовэнерго» и применяются в учебном процессе Южного федерального университета при проведении лекционных, практических и лабораторных занятий при подготовке магистров по направлению 13.04.02 – «Электротехника и электроэнергетика» (акт о внедрении).

6. Общие замечания по диссертационной работе и автореферату

1. Каким образом была выбрана архитектура НС в работе?
2. На страницах 28–29 (параграф 1.2) имеются неточности требующие уточнения:
 - отсутствуют расшифровки (рисунок 1.8), для которого не показано, что означает «статус» как влияющий параметр, и не дано определение параметрам «Ретроспективная мощность Р» и «Ретроспективная мощность Q»;
 - каким образом полученные корреляционные зависимости учитываются при построении прогнозной модели и какие именно факторы в итоге были выбраны в качестве входных данных для прогнозирования.
3. Почему прогнозирование выполнялось только при помощи исследуемых методов, на каком основании они были выбраны? Какими эмпирическими или теоретическими соображениями сопровождалось такое решение? Выделенные кластеры были использованы во всех прогнозных моделях?
4. При исследовании влияния различных параметров на точность прогнозирования в гл. 4, не дано точное описание методов и алгоритмов при прогнозировании с различными функциями потерь.
5. В работе автор в гл. 3 не подробно остановился на применении оптимизаторов. Несмотря на приведенные формулы, отсутствует описание области их применения и используемых переменных.
6. Не ясно, как получено значение среднего снижения ошибки прогнозирования на 4% при оценки применимости метрик обучения нейросети (страница 74)?
7. На странице 108 в таблице 4.1, «Погрешности прогноза НС в зависимости от данных результата», для аддитивного профиля указана погрешность 5,695, тогда как для циклического она составляет всего 0,392. Чем обусловлена такая значительная разница в точности прогнозирования между двумя типами данных?
8. В главе 5 автор недостаточно подробно описывает экономический эффект от внедрения результата исследования.

Необходимо при этом отметить, что изложенные выше замечания по диссертационной работе не влияют на ее положительную оценку в целом.

7. Заключение по работе

Диссертационная работа Качалаева Олега Вадимовича представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, выполненную на высоком научно-методическом уровне, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения и разработки метода прогнозирования и управления комплексными энергетическими сетями на основе интеллектуального анализа данных, что имеет существенное значение для развития электроэнергетической отрасли страны. Соответствует паспорту специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика:

- п. 4: «Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта» (рассматриваются методы для обработки больших объемов данных, передаваемых с интеллектуальных счетчиков и датчиков; прогнозирования ЭП на основе скользящего окна; синтеза структуры ИНС на основе эволюционного алгоритма);

- п. 5: «Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта» (разработана система поддержки принятия решений (СППР) как единый программный комплекс для оптимизации управления в сложных электроэнергетических системах).

- п. 11: «Методы и алгоритмы прогнозирования и оценки эффективности, качества, надежности функционирования сложных систем управления и их элементов» (разработан алгоритм прогнозирования электропотребления, особенностью которого выступает интеграция предложенных методов обработки информации и прогнозирования).

Содержание автореферата полностью отражает ключевые положения, выносимые на защиту, и основное содержание диссертации. Полученные в ходе исследования результаты являются достоверными, а сформулированные выводы и практические рекомендации обладают достаточной степенью обоснованности.

Практическая значимость работы подтверждается тем, что разработанные подходы позволяют осуществлять прогнозирование электропотребления, в том числе для категории потребителей с аддитивным характером нагрузки, с точностью, приемлемой для практического применения. Кроме того, предложенные решения обеспечивают возможность визуализации информационных потоков, поступающих как непосредственно от измерительных датчиков, так и формируемых в результате прогнозного моделирования. Данная визуализация служит основой для формирования логически обоснованных выводов о рекомендуемых управляющих воздействиях, направленных на предотвращение или минимизацию последствий возможных нарушений электроэнергетического баланса.

Диссертация отвечает критериям пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013, а её автор Качелаев О.В., заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Официальный оппонент,
кандидат технических наук
доцент кафедры
«Прикладная математика»
ФГБОУ ВО «ЮРГПУ (НПИ)
имени М.И. Платова»

 Вялкова Светлана Александровна

Подпись Вялковой С. А. заверяю
Ученый секретарь Совета вуза



 Холодкова Н. Н.

12.08.2026г.