

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Осгонбаатар Тувшин «РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ

(на примере энергосистемы Монголии)»,

представленной на соискание учёной степени кандидата технических
наук по специальности 2.4.3 – Электроэнергетика

1. Актуальность темы диссертации

Стратегия развития энергетики Монголии направлена на обеспечение растущего спроса на электроэнергию за счет повышения доступности генерирующих мощностей и модернизации инфраструктуры её передачи. Ключевыми задачами являются: 1) создание единой электроэнергетической системы (ЭЭС) путем интеграции региональных энергосетей, 2) участие в межгосударственном энергетическом объединении стран Северо-Восточной Азии.

На всех этапах работы ЭЭС — производство, передача и распределение электроэнергии — внедряются современные технологии, включая возобновляемые источники энергии (ВИЭ), системы накопления энергии и другие инновационные решения. Переход от традиционной энергетики к системе с высокой долей ВИЭ сопряжен с вызовами, такими как нестабильность генерации и необходимость адаптации методов управления.

В этих условиях особую актуальность приобретают разработка и внедрение более гибких и эффективных способов управления ЭЭС, в частности, перспективным является использование искусственного интеллекта. Совершенствование методологии краткосрочного прогнозирования и планирования режимов работы энергосистемы (на период до 24 часов) становится важной практической задачей.

Разработка системы предиктивной аналитики нормальных режимов работы ЭЭС с возобновляемыми источниками энергии является недостаточно исследованной задачей для ЦЭС Монголии. В данной диссертационной работе рассматривается задача оптимизации суточного

планирования режимов работы ЭЭС и возможности её интеллектуализации. Актуальность данного исследования очевидна и не вызывает сомнений.

2. Анализ содержания диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и двух приложений. Диссертация изложена на 166 страницах, включая 2 приложения, список литературы, состоящий из 145 источников, 52 рисунка и 24 таблицы.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, определена научная новизна, практическая ценность и достоверность результатов работы, описана структура диссертации в целом.

Первая глава посвящена анализу современных методов управления режимами работы электроэнергетической системы (ЭЭС). В результате чего было выявлено, что для эффективного управления ЭЭС необходимо решение комплекса сложных задач. В каждой задаче предполагается: обработка значительных объемов данных, применение специализированного математического аппарата, учет временного горизонта воздействия и учет цели управления. На основании проведенного анализа было принято решение уделить основное внимание планированию режимов работы на сутки вперед. Рассмотрены существующие методы прогнозирования процессов в электроэнергетике и оптимизации режимов работы энергосистем. Проведен анализ структуры энергетики Монголии с акцентом на Центральную энергосистему, где расположены большая часть потребления и генерации электроэнергии.

Вторая глава посвящена разработке методологии прогнозирования суточного графика потребления электроэнергии в энергосистеме и в ее узлах. Проведены эксперименты на основе классических методов линейной регрессии и интегрированной модели авторегрессии скользящего среднего. Смоделирован суточный график нагрузки в узлах с помощью ранговых моделей.

Третья глава посвящена разработке методов прогнозирования суточного графика мощности, вырабатываемой на ветровых и солнечных электростанциях. Впервые применены ансамблевые алгоритмы машинного обучения в поставленных задачах.

В четвертой главе сформулированы задачи оптимизации электрических режимов для ЦЭС Монголии с учетом ее особенностей и свойств. Разработаны алгоритмы оптимизации режимов работы ЭЭС, в котором наилучшее решение находится за счет оптимального распределения активной мощности между ТЭЦ с учетом выработки электроэнергии на ветровых и солнечных электростанциях.

В заключении представлены основные результаты диссертационной работы, подтверждающие решение поставленных задач.

Приложения (2) содержат данные о фактических параметрах оборудования схемы ЦЭС и акты о внедрении результатов.

3. Соответствие диссертации и автореферата паспорту специальности 2.4.3 – Электроэнергетика

Содержание диссертации и автореферата соответствуют пунктам:

П.10. Разработка цифровых и физических методов анализа и мониторинга режимных параметров основного оборудования электростанций, электрических сетей и систем электроснабжения;

П.11. Разработка методов мониторинга и анализа режимных параметров основного оборудования электростанций, подстанций и электрических сетей энергосистем, мини- и микрогрид.

П.20. Разработка методов использования информационных и телекоммуникационных технологий и систем, искусственного интеллекта в электроэнергетике, включая проблемы разработки и применения информационно-измерительных, геоинформационных и управляющих систем для оперативного и ретроспективного мониторинга, анализа, прогнозирования и управления электропотреблением, режимами, надежностью, уровнем потерь энергии и качеством электроэнергии.

4. Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации

Автореферат диссертации полно отражает ее основное содержание.

5. Методы исследования

При решении поставленных задач прогнозирования временных рядов использовались статистические методы, включая линейную регрессию и интегрированную модель авторегрессии и скользящего среднего, а также

ансамблевые модели машинного обучения. Оптимизационная задача решена методами линейного программирования и Ньютона второго порядка. Программная реализация выполнена на языке программирования *Python*. Экспериментальное исследование и тестирование алгоритмов оптимизации выполнено средствами программного продукта *RastrWin.3.0*.

6. Степень обоснованности научных положений и достоверности полученных результатов

Научные положения, выводы и рекомендации, изложенные в диссертационной работе, обоснованы приведенными теоретическими положениями и результатами, полученными при проведении экспериментальных расчетов для реальной энергосистемы. Достоверность проведенных исследований подтверждена сравнением результатов применения статистических методов и методов машинного обучения и корректным использованием средств программного обеспечения (*RastrWin3*, *Pandapower*).

7. Новизна научных положений, выводов и рекомендаций

В диссертационной работе:

1. Разработаны математические модели электропотребления ЭЭС и ее узлов, основанные на комбинации ансамблевых моделей машинного обучения и статистических ранговых моделей.
2. Разработаны методики прогнозирования суточного графика генерации ВИЭ, таких как солнечные и ветровые электростанции, основанные на ансамблевых моделях и учитывающие метеорологические условия и информацию о сезонности.
3. Разработаны алгоритмы оптимизации нормальных режимов работы ЦЭС Монголии с учетом моделей электропотребления и генерации источников электроэнергии.
4. Впервые в концепцию системы предиктивной аналитики режимов работы ЭЭС включены такие программные модули, как прогнозирования электропотребления и генерации ВИЭ, а также оптимизации нормальных режимов работы ЦЭС Монголии.

8. Практическая значимость и использование результатов диссертационной работы

На все разработанные автором программы получены свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Программные продукты также использованы при формировании отчета «Технические рекомендации по интеграции гидроаккумулирующих электростанций мощностью 250 МВт в центральную энергосистему Монголии».

9. Отличие выполненных исследований от других работ

Диссертационная работа имеет отличия от других работ, выполненных в исследуемой области. Основное отличие заключается в том, что впервые в концепцию системы предиктивной аналитики режимов работы ЭЭС включены следующие программные модули: прогнозирование электропотребления и генерации ВИЭ, оптимизация режимов работы ЦЭС Монголии.

10. Личный вклад автора

Автором совместно с научным руководителем выполнена постановка цели и задач исследования. В соответствии с рекомендациями научного руководителя автором разработаны математические модели и алгоритмы, выполнена их программная реализация. В работах, опубликованных в соавторстве, автору принадлежит формализация поставленных задач исследований, выбор методов их решения, проведение исследований, анализ и обобщение результатов.

11. Опубликованность основных результатов диссертационной работы

По теме диссертации опубликовано 11 печатных работ, в том числе 4 научные статьи в рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень ВАК РФ; 5 статей, входящих в наукометрическую базу «Scopus»; 1 статья в сборнике научных трудов всероссийских конференций; 1 статья в прочих журналах. Получено 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

12. Замечания

1. В разделе «Актуальность» автор утверждает, что совершенствование методологии как прогнозирования, так и планирования режимов работы в краткосрочной перспективе является неотложной практической задачей,

однако не приводит аргументов, подтверждающих её срочность (неотложность).

2. В диссертации на стр. 6 автор делает вывод, что ученые, внесшие заметный вклад в решение задач планирования режимов работы электроэнергетических систем, отмечают отсутствие единой методики. Следует ли из этого, что такая методика необходима? Если да, то следует обосновать, почему автор диссертации считает важным разработку универсального подхода к планированию режимов, применимого для различных энергосистем.
3. В главе 2 на стр. 63 одним из выводов, полученных при анализе рис.2.3, является следующий «Видно, что имеется тесная взаимосвязь электропотребления с температурой наружного воздуха для ЦЭС Монголии». Желательно пояснить необходимость этих исследований, так как взаимосвязь электропотребления и температуры окружающего воздуха очевидна.
4. Автор справедливо отмечает в главе 2 (стр. 69) важность создания отдельных обучающих выборок для рабочих и нерабочих дней. Однако это общепринятая практика в задачах прогнозирования. В связи с этим, следует объяснить почему исследование, связанное с разделением данных на рабочие и нерабочие дни, играет важную роль в рамках предлагаемого метода.
5. На стр. 125 приводится порядок загрузки генерирующего оборудования, но отсутствует описание стратегии управления ВИЭ. В тексте (и в выводах) неоднократно подчеркивается учет возобновляемых источников («...перераспределения активной мощности между ТЭЦ с учетом генерации ВИЭ»). А как учитывают ВИЭ не уточнено. В соответствии с какой стратегией работают ваши ветровые и солнечные станции? Эта информация очень важна при прогнозировании.
6. На стр. 131 автор утверждает «Это подтверждает, что язык программирования Python может быть успешно использован для решения поставленных задач». Требуется пояснить что конкретно автор имеет в виду. Как язык программирования может влиять на результат прогнозирования?
7. Автор утверждает «Очевидно, что любой из предложенных алгоритмов может быть применён к оптимизации нормальных режимов работы ЦЭС Монголии путём перераспределения активной мощности между ТЭЦ по

соответствующим критериям». Но в работе нет рекомендации в каких случаях лучше использовать тот или иной алгоритм. Необходимо дать такие рекомендации, иначе непонятно для чего был проведен сравнительный анализ результатов, полученных по двум алгоритмам.

8. Выводы к главе 4 не обобщают полученные результаты, а только повторяют сказанное в тексте.

13. Соответствие диссертации критериям «Положения о присуждении учёных степеней»

Диссертационная работа Осгонбаатар Тувшин отвечает требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней»:

п.9. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой автором предложены научно обоснованные технологические решения, внедрение которых повышает точность краткосрочного планирования режимов ЭЭС с возобновляемыми источниками энергии.

п.10. Диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, свидетельствующие о личном вкладе автора диссертации в науку. В диссертации представлены сведения о практической полезности результатов и рекомендации по использованию научных выводов.

п.11-13. Основные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях: 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК, 5 статей в изданиях, индексируемых базами данных Scopus и Web of Science.

п.14. Диссертация соответствует требованию указания ссылок на заимствованные материалы или отдельные результаты.

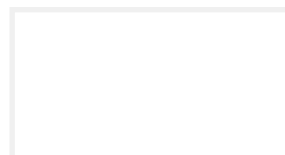
14. Общее заключение

В диссертационной работе изложены научно обоснованные технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие электроэнергетических систем, как основы экономики страны. Сделанные замечания не снижают научной и практической значимости результатов диссертационной работы и, в основном, носят характер уточнений и пожеланий.

Основываясь на вышеизложенном, считаю, что диссертационная работа «РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ (на примере энергосистемы Монголии)» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему и содержащей значимые для отрасли научные и практические результаты, а её автор, Осгонбаатар Тувшин, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.4.3 – Электроэнергетика.

Официальный оппонент,

старший научный сотрудник отдела
электроэнергетических систем, доцент,
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение науки ИСЭМ СО
РАН, доктор технических наук по специальности
05.14.02 – Электрические станции и
электроэнергетические системы



Глазунова
Анна
Михайловна

Сведения:

Полное наименование организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение науки «Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева» Сибирского отделения Российской академии наук.

Юридический адрес: 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130.

Телефон: +7(3952) 500-646

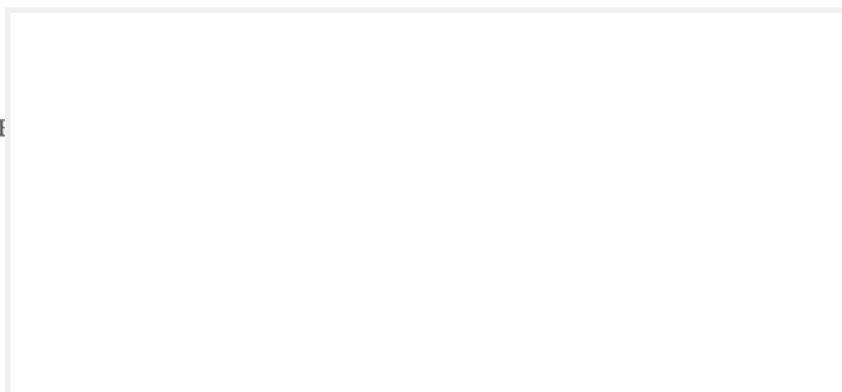
Эл. адрес: glazunova@isem.irk.ru

Должность: старший научный сотрудник отдела электроэнергетических систем

Ф.И.О.: Глазунова Анна Михайловна

Подпись А.М. Глазуновой

28.05.2025



Отзв
с
подписи
18.06.2025 г. [подпись]
ознакомлен 18.06.2025 г. [подпись] (Тувшин.О)