

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, доцента
Суслова Константина Витальевича на диссертацию
Осгонбаатара Тувшина на тему «Разработка системы предиктивной
аналитики режимов работы электроэнергетической системы с
возобновляемыми источниками (на примере энергосистемы Монголии)»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.4.3 – Электроэнергетика

1. Актуальность темы диссертации

Электроэнергетическая система Монголии, в частности, ее Центральная энергосистема, представляет собой сложный объект, включающий множество структурных элементов, связанных между собой иерархически. Характерной особенностью является сочетание традиционных теплоэлектроцентралей с возобновляемыми источниками энергии, такими как ветровые и солнечные электростанции. Правительство Монголии поставило цель увеличить долю ВИЭ до 30% к 2030 г.

Интеграция возобновляемых источников энергии, характеризующихся стохастической природой генерации, вносит существенную неопределенность в баланс активной мощности энергосистемы, что делает краткосрочное планирование режимов работы и его оптимизацию критическим аспектом обеспечения надежности и эффективности энергосистемы. Таким образом, критически важной задачей становится разработка более адаптивной и эффективной методологии управления электроэнергетической системой с возобновляемыми источниками за счет использования искусственного интеллекта.

Настоящая диссертационная работа комплексно исследует проблемы прогнозирования процессов в электроэнергетической системе и оптимизации ее режимов работы на сутки вперед, а также возможности их интеллектуализации. Диссертационное исследование обладает безусловной актуальностью, что подтверждается текущими потребностями современного энергетического сектора.

2. Анализ содержания диссертации

Диссертационная работа структурно состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, состоящий из 145 источников, и двух приложений. Объем диссертации составляет 166 страниц, включая 52 рисунков и 24 таблицы.

Во введении представлена общая характеристика работы, обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи, описаны научная новизна, практическая значимость результатов, внедрения и

апробация полученных результатов, сформулированы вносимые на защиту положения.

Первая глава посвящена анализу состояния проблемы управления режимами работы электроэнергетической системы (ЭЭС). В результате анализа было принято решение уделить основное внимание планированию режимов работы на сутки вперед. Дан краткий обзор существующих методов прогнозирования процессов в электроэнергетике и оптимизации режимов работы ЭЭС. Описана особенность энергетической системы Монголии, в частности Центральной энергосистемы, где сосредоточена основная часть генерации и потребления электроэнергии.

Вторая глава посвящена разработке методологии прогнозирования суточных графиков нагрузки ЭЭС и ее узловых подстанций. Предложено применение ансамблевых моделей машинного обучения для прогнозирования суточных графиков нагрузки электроэнергетической системы, поскольку они демонстрируют более высокую точность по сравнению с классическими методами, такими как линейная регрессия и интегрированная модель авторегрессии - скользящего среднего (ARIMA). С помощью ранговых моделей также спрогнозирована модель суточного графика нагрузки в узлах ЭЭС.

Третья глава посвящена разработке методов краткосрочного прогнозирования суточного графика генерируемой мощности ветровых и солнечных электростанций. Впервые для Центральной энергосистемы Монголии предложена методология прогнозирования генерации ВИЭ на основе ансамблевых моделей машинного обучения.

Четвертая глава посвящена постановке задачи оптимизации установившихся режимов Центральной энергосистемы Монголии. В главе разработаны алгоритмы оптимизации нормальных режимов работы ЭЭС путем перераспределения активной мощности между ТЭЦ с учетом прогнозируемой генерации ВИЭ.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

В приложениях содержатся данные о фактических параметрах оборудования схемы Центральной энергосистемы и копии актов о внедрении результатов диссертационной работы.

3. Соответствие паспорту специальности 2.4.3 – Электроэнергетика

Содержание диссертации и автореферата соответствуют пунктам:

- Разработка цифровых и физических методов анализа и мониторинга режимных параметров основного оборудования электростанций, электрических сетей и систем электроснабжения (пункт 10);
- Разработка методов мониторинга и анализа режимных параметров основного оборудования электростанций, подстанций и электрических сетей энергосистем, мини- и микрогрид (пункт 11);

- 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 (пункт 20).

4. Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации

Автореферат диссертации полностью отражает основное содержание диссертационного исследования.

5. Методы исследования

Для решения задач прогнозирования процессов в электроэнергетике применялись различные классические подходы, такие как линейная регрессия и авторегрессии, а также ансамблевые модели машинного обучения. Оптимизационная задача решена детерминированными методами, включая методы линейного программирования и метод Ньютона второго порядка. Работа выполнена на языке программирования *Python*.

6. Степень обоснованности научных положений и достоверности полученных результатов

Научные положения, выводы и рекомендации, представленные в диссертационной работе, обоснованы соответствующими теоретическими основами и результатами, полученными в ходе 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

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 результатов диссертационной работы

Разработанные в ходе диссертационного исследования программы получены свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ и использованы при подготовке отчета «Технические рекомендации по интеграции гидроаккумулирующих электростанций мощностью 250 МВт в центральную энергосистему Монголии».

9. 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.

10. Публикация 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.

11. Замечания

1. На рисунке 1.3 представлен график прогноза пикового электропотребления. На графике, начиная с 2020 года, представлены прогнозные значения. Очевидно, что данные взяты из источника [101] за 2022 год. Насколько данный прогноз сбился и какова текущая ситуация с энергопотреблением?

2. Достаточно много работ по развитию и функционированию энергосистемы Монголии было выполнено Баяром Бат-Эрдэнэ. В частности, осенью 2024 года им была защищена диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. К сожалению, в списке литературы нет ссылки на данную диссертацию, и имеется только одна ссылка на его статью.

3. В диссертации приведен очень подробный обзор методов прогнозирования. Но автором не совсем четко дается обоснование выбора того или иного метода, применительно к задачам решаемым в диссертационной работе.

4. Для более точного учета температуры воздуха автором предлагается использовать так называемую «эффективную температуру». В работе представлено уравнение изменения температуры прогнозируемого дня, которое содержит весовые коэффициенты. Каким образом определены весовые коэффициенты?

5. В таблице 2.9 приводятся ранговые коэффициенты зон энергоснабжения. Не совсем понятно, каким образом были выбраны данные значения коэффициентов.

6. Автором при анализе электропотребления используется только критерий зависимости от температуры воздуха. Каким образом можно учесть иные факторы?

7. На рисунке 4.10 представлен график среднесуточных потерь мощности и цены покупки у ТЭЦ. Не совсем понятно, почему такой разброс величины потерь получился в разные дни при достаточно стабильной генерации.

Представленные замечания не снижают научной и практической значимости результатов диссертационной работы.

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

Диссертационная работа соответствует требованиям п.п. 9-14, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842 (в текущей редакции):

- 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.

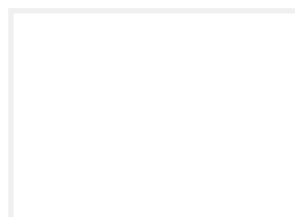
9. Общее заключение

Диссертационная работа на тему «Разработка системы предиктивной аналитики режимов работы электроэнергетической системы

с возобновляемыми источниками (на примере энергосистемы Монголии)» соискателя **Осгонбаатара Тувшина** является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, обладающей актуальностью, научной новизны, практической значимостью полученных результатов.

Диссертационная работа отвечает требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842 (в текущей редакции), а её автор, **Осгонбаатар Тувшин**, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.3 – Электроэнергетика.

Официальный оппонент,
Профессор кафедры гидроэнергетики и
возобновляемых источников энергии,
доктор технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Национальный
исследовательский университет «МЭИ»



Суслов
Константин
Витальевич

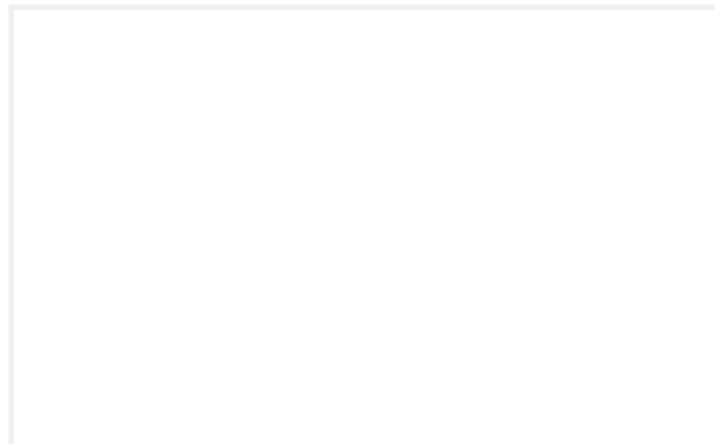
04.06.2025г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ». Адрес: 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14, стр. 1.

Телефон: +7(495) 362-75-60

Эл. адрес: dr.souslov@yandex.ru

Подпись К.В. Суслова удостоверяю



Отзыв получен 16 июня 2025г. *Осмондорж А.А.*

С отзывами ознакомлен *Тувшин О.*
16 июня 2025г.