

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Ерошенко Станислава Андреевича на тему «Краткосрочное прогнозирование и планирование режимов фотоэлектрических электростанций» по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы на соискание ученой степени кандидата технических наук

Структура и объем диссертации

Представленная диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы и одного приложения. Работа изложена на 212 страницах, содержит 63 таблицы и 57 рисунков. Список литературы включает в себя 176 библиографических ссылок.

Во введении обоснована актуальность темы и дана ее общая характеристика. Определены объект и предмет исследования, сформулированы цели и задачи диссертационной работы, научная новизна и практическая значимость результатов работы, положения, выносимые на защиту.

В первой главе *«1 Планирование развития генерирующих мощностей на основе возобновляемых источников энергии»* представлен аналитический обзор существующих подходов к планированию развития генерирующих мощностей, в том числе на основе возобновляемых источников энергии. В данной главе также представлен обзор международных стандартов и нормативных документов, регламентирующих основные технические требования к генерирующим установкам на базе возобновляемых источников энергии, а также процедуры и системные ограничения при их подключении на параллельную работу с электроэнергетической системой. Среди прочего рассматриваются существующие механизмы поддержки развития возобновляемых источников энергии в России в рамках оптового рынка электроэнергии и мощности, а также в рамках розничного рынка электроэнергии. В главе представлен анализ основных факторов, влияющих на показатели эффективности размещения тех или иных видов генерирующих объектов, функционирующих на основе возобновляемых источников энергии.

Во второй главе *«2 Модель оптимального размещения генерирующих мощностей на основе возобновляемых источников энергии»* представлено описание разработанной многопараметрической математической модели оптимального размещения объектов генерации на основе возобновляемых источников энергии с использованием генетического алгоритма на базе карт географического и технологического районирования. В данной главе детально изложена комплексная методика сопоставления эффективности внедрения фотоэлектрических электростанций с возможными вариантами реализации проектов по строительству ветровых электрических станций и станций, функционирующих на биотопливе, а именно с использованием отходов лесопромышленного комплекса регионов. Выполнено исследование эффективности развития генерации на основе возобновляемых источников энергии в Свердловской области.

В третьей главе «3 Разработка моделей краткосрочного и оперативного прогнозирования фотоэлектрических электростанций» предлагаются новые модели краткосрочного и оперативного прогнозирования генерации фотоэлектрических электростанций с использованием методов машинного обучения. В данной главе представлено описание различных конфигураций фотоэлектрических электростанций, основных технических особенностей при работе фотоэлектрических электростанций в составе электроэнергетической системы, а также обзор существующего мирового опыта в области прогнозирования генерации таких электрических станций. Большое внимание в главе уделяется техническим и метеорологическим факторам, влияющим на эффективность функционирования фотоэлектрических электростанций, а также моделированию энергетических параметров солнечного излучения. Выполнена апробация и валидация моделей прогнозирования на реальной фотоэлектрической станции.

В четвертой главе «4 Влияние фотоэлектрических электростанций на резервы мощности в энергосистемах» представлены результаты проведения оценки влияния точности прогнозирования генерации фотоэлектрической электростанции на объемы резервов мощности, необходимые при краткосрочном планировании режимов электроэнергетической системы.

Заключение содержит основные выводы по работе.

В *Приложении А* представлены акты о внедрении результатов диссертационной работы.

К диссертационной работе прилагается *автореферат* на 24 страницах, в котором содержится краткое содержание работы по главам, а также сведения об актуальности работы, поставленных целях, научной новизне и практической значимости, основных положениях, выносимых на защиту, апробации и публикациях по теме диссертационной работы.

Актуальность темы диссертации

Современные региональные электроэнергетические системы характеризуются непрерывным ростом доли возобновляемых источников энергии в топливно-энергетическом балансе, что во многом обусловлено существующими на сегодняшний день механизмами стимулирования их развития как в России, так и за рубежом. В энергосистемах со значительной долей возобновляемых источников энергии задача оптимального размещения генерирующих объектов имеет ряд особенностей, связанных с функционированием такой генерации в составе электроэнергетических систем, режимы работы которых регламентируются правилами технологического функционирования электроэнергетических систем и базируются на формировании долгосрочных и краткосрочных балансов мощности и электроэнергии. Задача размещения генерирующих объектов в энергосистеме со значительной долей возобновляемых источников энергии, среди прочих, имеет непосредственную связь с задачей прогнозирования генерации электрической энергии. Отсутствие достоверных прогнозов влечет за собой необходимость постоянного поддержания избыточного

резерва активной мощности в энергосистеме. Все это приводит к неэффективной работе генерирующего оборудования и негативно сказывается на экономике функционирования энергосистемы в целом.

Для решения задачи эффективного размещения фотоэлектрических станций требуется учитывать энергетический потенциал территории, доступность альтернативных местных видов топлива и другие факторы, что требует разработки новых и модернизации существующих методов, моделей и инструментов, использующих передовые технологии в сфере анализа данных и создания систем поддержки принятия решений.

Диссертационная работа Ерошенко Станислава Андреевича направлена на решение актуальных задач повышения эффективности внедрения электростанций на основе возобновляемых источников энергии в электроэнергетические системы, а также предлагает решение ряда принципиально новых проблем и задач с использованием современных информационно-аналитических и математических методов обработки и анализа данных. Это безусловно подчеркивает актуальность темы диссертационного исследования в плоскостях отраслевой и научно-исследовательской деятельности.

Методы исследования

В диссертационной работе использованы методы машинного обучения и искусственного интеллекта, методы нелинейной и линейной оптимизации, теории вероятности, в частности градиентный бустинг над деревьями решений, метод множественной регрессии, генетический алгоритм, метод анализа иерархий, метод Монте-Карло. Модели электроэнергетической системы, генерирующих объектов на основе возобновляемых источников энергии, включающих распределительные устройства переменного тока, полупроводниковые преобразователи, получены путем системного анализа и имитационного моделирования.

Обоснованность и достоверность полученных результатов

Достоверность и обоснованность полученных в диссертационной работе результатов, выводов и рекомендаций убедительно подтверждается результатами системного анализа функционирования генерирующих объектов в составе электроэнергетической системы, с учетом множества трудноформализуемых внешних факторов различной природы, а также согласованностью с результатами, полученными путем эмпирических выводов. Сопоставление теоретических данных и результатов проведенного исследования, а также сравнение с существующими зарубежными методами и подходами также свидетельствует об обоснованности и достоверности результатов диссертационной работы.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, содержащихся в диссертации, отвечает требованиям, предъявляемым к научным квалификационным работам.

Новизна исследований и полученных результатов

В данной диссертационной получены новые результаты в области оптимизации размещения электрических станций на основе возобновляемых источников энергии и прогнозирования выработки электроэнергии фотоэлектрическими электростанциями, в том числе для решения задачи формирования резервов мощности в энергосистеме, а именно:

1) Разработана математическая модель системы поддержки принятия решений для оптимизации размещения объектов генерации в энергосистемах с увеличенной долей возобновляемых источников энергии, учитывающая множество сложно формализуемых параметров и реализованная на картах технологического и географического районирования по условиям энергетического потенциала первичного источника энергии, что позволяет получить оптимальное решение сложной и объемной задачи выбора мест размещения электрических станций с учетом технических и технологических ограничений электрической сети и природно-географических особенностей территории.

2) Разработаны новые модели и алгоритмы краткосрочного и оперативного прогнозирования генерации электроэнергии фотоэлектрическими станциями с использованием методов машинного обучения, с учетом физических законов распространения солнечного излучения в атмосфере Земли, технологических особенностей реализации схем выдачи мощности таких генерирующих объектов.

3) Впервые предложена методика оценки резервов активной мощности в энергосистеме с большой долей возобновляемых источников энергии, основанная на оценке рисков возникновения небаланса активной мощности, позволяющая исключить необходимость формирования излишних резервов мощности в энергосистеме и снизить эксплуатационные издержки собственников генерирующего оборудования.

Практическая ценность результатов исследований

Результаты диссертационной работы имеют высокую практическую ценность. Предложены новые методы решения задачи оптимизации размещения электрических станций на возобновляемых источниках энергии, задач краткосрочного и оперативного прогнозирования выработки электрической энергии фотоэлектрическими станциями, оценки точности прогнозов и их влияния на величину резервов активной мощности в электроэнергетической системе.

В результате решения задачи оптимизации местоположения и мощности генерирующих объектов, функционирующих на основе возобновляемых источников энергии, путем комбинирования генетического алгоритма и метода анализа иерархий для крупного субъекта РФ был получен ранжированный перечень генерирующих объектов, рекомендованных к рассмотрению при формировании схем и программ развития электроэнергетики региона.

Математический алгоритм прогнозирования генерации электроэнергии фотоэлектрическими электростанциями реализован на языке программирования

Python в программном комплексе Jupyter. Разработанные модели апробированы на фотоэлектрической электростанции в Оренбургской энергосистеме и внедрены на аналогичном генерирующем объекте в Астраханской области в составе программного комплекса компании ООО «Прософт-системы», о чем свидетельствует акт внедрения. Результаты апробации позволяют сделать вывод о возможном использовании предложенных моделей в отраслевом масштабе для решения задач краткосрочного планирования режимов электроэнергетических систем диспетчерскими центрами, а также для обеспечения участия собственников фотоэлектрических электростанций в процедурах оптового рынка электроэнергии и мощности.

Подтверждение опубликованных результатов диссертации в научных печатных изданиях

По теме диссертации опубликовано 13 печатных работ. В рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ, опубликовано 3 статьи, 10 статей проиндексированы в международных наукометрических базах Scopus и Web of Science.

Соответствие полученных результатов поставленным целям и задачам диссертации

Полученные в диссертации результаты соответствуют заявленной цели работы. Все поставленные задачи решены в полном объеме.

Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертационной работы.

Соответствие диссертации и автореферата паспорту специальности

Диссертационная работа соответствует следующим пунктам паспорта специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы:

п. 1 «Оптимизация структуры, параметров и схем электрических соединений электростанций»;

п. 6 «Разработка методов математического и физического моделирования в электроэнергетике»;

п. 13 «Разработка методов использования ЭВМ для решения задач в электроэнергетике».

Соответствие диссертации критериям «Положения о присуждении ученых степеней»

Диссертационная работа Ерошенко Станислава Андреевича «Краткосрочное прогнозирование и планирование режимов фотоэлектрических электростанций» соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а именно п. 9 - 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842.

Вопросы и замечания по содержанию диссертационной работы

1. В тексте диссертации встречаются орфографические ошибки, например: вторая снизу строка стр. 30 «Важно отметить, что для получение государственной поддержки...» и некорректные выражения, например: 2 строка на стр. 15 «Генерирующие объекта на базе ВИЭ...», 1 абзац стр. 22 «..., такие как – балансовые модели...», 3 абзац стр. 23 «Современные СиПРЭ субъектов РФ включаются ряд разделов» и «... развития малой распределенной генерации» и так далее. Глава 2, стр. 78 «Оценка энергетического потенциала ветра» - необходимо вынести как название раздела.

2. В главе 2 указан оптимальный диапазон наклона солнечной панели в летний и зимний период от 12 до 75 градусов. Как изменится алгоритм при использовании варианта солнечных панелей с системой их одно или двух осевой ориентации по солнцу в течении дня и ежемесячно. Это повлияет на точность? Есть ли ограничения по количеству вводимых переменных?

3. Глава 3 – какие данные и в каком виде необходимо получить от метеостанции для работоспособности алгоритма, нужно ли их структурировать, в каком виде вводить в алгоритм (привязка широте и долготе), какая минимальная база для корректной работы алгоритма (месяц, год, 10 лет)?

4. В диссертационной работе разработан эффективный алгоритм прогнозирования выработки электрической энергии электростанциями на основе методов машинного обучения. В частности, прогнозирование плотности потока солнечного излучения производится на основе обучения по ретроспективным и текущим данным. Однако остается непонятной ситуация, когда электростанция является проектируемым объектом и для нее отсутствуют какие-либо ретроспективные данные, а расположение близлежащих метеостанций не позволяет использовать данные с них. Необходимо пояснение возможного применения предложенных алгоритмов для вновь вводимых фотоэлектрических станций.

5. Название диссертационной работы «Краткосрочное прогнозирование и планирование режимов фотоэлектрических электростанций» не в полной мере раскрывает содержание диссертации и проделанную работу. В работе помимо краткосрочного прогнозирования также рассматриваются вопросы оперативного прогнозирования и исследуются вопросы поиска оптимального размещения электростанций на основе возобновляемых источников энергии.

6. В выводах по главе 2 присутствует утверждение, что использование предложенной методики позволяет эффективно решать задачи стратегического планирования, однако в работе явно не представлено подтверждение получения наиболее эффективного решения или экспертных оценок, подтверждающих объективность полученных результатов.

Заключение

Представленная диссертационная работа Ерошенко Станислава Андреевича является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой,

выполненной на актуальную тему. Текст диссертации в целом изложен логично, написан понятно с использованием корректной технической и научной терминологии, выводы диссертационного исследования аргументированы. В тексте диссертации встречаются мелкие опечатки и неточности формулировок. Работа обладает научной новизной и высокой практической значимостью.

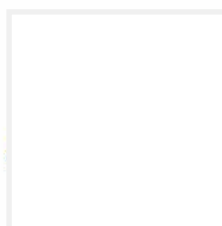
Разработанные модели и инструменты с использованием новых интеллектуальных технологий представляют собой решение важных научно-технических задач прикладного значения.

Содержание диссертации соответствует поставленным задачам и целям. Диссертация основана на большом объеме исходных данных, выполнена большая работа по их анализу и обработке. Каждая глава сопровождается обоснованным и четким выводом.

Основные научные результаты диссертации изложены в 13 печатных работах, из которых 3 опубликованы в рецензируемых изданиях, рекомендуемых ВАК. Результаты работы докладывались на научных конференциях в России и за рубежом. Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации и теоретические положения, научную новизну полученных результатов и их практическую значимость с учетом информации об апробации и внедрении результатов работы в производственную деятельность ООО «Прософт-системы» и в образовательный процесс в Новосибирском государственном техническом университете и Уральском федеральном университете.

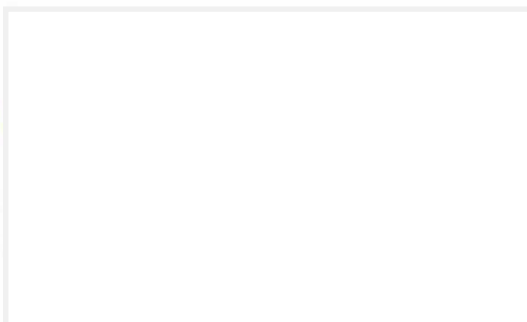
Вышесказанное позволяет сделать вывод, что диссертационная работа Ерошенко Станислава Андреевича «Краткосрочное прогнозирование и планирование режимов фотоэлектрических электростанций» соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а именно п. 9 - 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Кандидат технических наук,
доцент кафедры
«Электроснабжение
промышленных предприятий»
Федерального
государственного бюджетного
образовательного учреждения
высшего образования «Омский
государственный технический
университет»



Бубенчиков Антон Анатольевич

Подпись Бубенчикова Антона Анатольевича



ГТУ:
Анатольевна

Одобрено коллегия 09.12.2020г. Проф. Юсупов А.А.

С отрывком ознакомлен 09.12.2020г. [Подпись] /Ерошенко С.И.