

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, старшего научного сотрудника Куколева Максима Игоревича на диссертацию Агъекума Эфраима Бонаха «Исследование потенциала ветровой и солнечной энергии в Республике Гана и научное обоснование площадок для размещения ВЭУ и СЭС» (Study of the potential of wind and solarenergy in the Republic of Ghana and scientific justification of sites for the installation of WPP and SPP), представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5 – «Энергетические системы и комплексы»

1. Актуальность темы диссертационного исследования обусловлена тем, что на африканском континенте существует большой потенциал применения возобновляемых источников энергии. Однако его использование незначительно. Так, к примеру, в Республике Гана на долю ВИЭ приходится лишь 0,5 % энергетического баланса страны. Осуществление планов Правительства к 2030 году увеличить состав ВИЭ в энергетическом балансе страны примерно до 10% невозможно осуществить без своевременной разработки научного и инженерного сопровождения проектов новых энергетических установок. Поэтому работа, посвящённая исследованию потенциала ветровой и солнечной энергии в Республике Гана и научное обоснование площадок для размещения ВЭУ и СЭС, актуальна.

2. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Обоснованность основных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы базируется на использовании теоретических и экспериментальных методов исследования с применением современных программных средств и соответствующего оборудования.

Данные были получены автором путем проведения экспериментальных исследований на созданном стенде.

3. Научная новизна положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Едва ли не впервые оценён потенциал использования энергии солнца и ветра в северной, центральной и южной географических зонах территории Республики Гана; определены территории страны для строительства солнечных и ветряных электростанций с учетом существующих линий электропередач и потенциальных объектов потребления; предложены способы охлаждения фотоэлектрических панелей для экваториальных стран с жарким климатом, позволяющий повысить КПД солнечных станций:

а) использующий установку на панели комбинации ребер из алюминия и

объёмов с фазопереходным материалом;

б) использующий установку на панели комбинации ультразвукового увлажнителя и ребер из алюминия.

4. Практическая ценность диссертации заключается в разработке механизма для обоснованного выделения территорий Республики Гана для размещения новых солнечных и ветряных электростанций.

5. Содержание диссертационной работы.

Рассматриваемая работа содержит 225 с. текста, в т.ч. список литературы (245 источников) и 1 приложения. Материал диссертации размещен в пяти главах и заключении.

Во **введении** обоснована актуальность диссертации; показана степень разработанности темы исследования; сформулированы цель и задачи работы; обозначены научная новизна, теоретическая и практическая значимость представляемых материалов; сформулированы положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена обзору литературных источников по энергетическому сектору Ганы и потенциалу применения возобновляемых источников энергии в этой стране; оценено текущее состояние энергетического сектора Ганы, стратегия Ганы по обеспечению всеобщего доступа к электроэнергии и сокращению выбросов парниковых газов. Рассмотрены возобновляемые ресурсы: гидроэнергетический, ветроэнергетический потенциалы, а также солнечная энергия, потенциалы волн и биомассы.

Во **второй главе** рассматриваются вопросы принятия решения о местоположении и распределении площадки для береговых ветровых электростанций с использованием пространственного многокритериального анализа и кластеризации. Автор останавливается на современном использовании географических информационных систем (ГИС) для оценки потенциала ВИЭ, оптимизации площадок для внедрения ветряных электростанций. Методологическому осмыслению подверглись вопросы подбора данных для анализа и их подготовки; локализации и оценки зон, их кластеризация и ранжирование; подхода к кластеризации на основе плотности (DBCA) и процесса аналитической иерархии (АНР). Затронуты вопросы технико-экономического анализа и экономической целесообразности. Сделаны выводы: предложен новый подход к выбору оптимальных участков для развития ветряных электростанций в странах с формирующейся рыночной экономикой. Едва ли не впервые для выявления участков с высокой скоростью ветра в Гане был использован пространственный многокритериальный анализ. В результате анализа было выявлено в общей сложности 14 кластеров. Средний размер кластеров составляет около 19 км² при максимальной площади до 32 км².

Третья глава посвящена оптимизации выбора площадки фотоэлектрической электростанции с использованием процесса аналитической иерархии и кластеризации для расширения сети электропередач. Рассмотрены оптимиза-

ция площадок фотоэлектрических электростанций для Ганы; потребности в земле для установок солнечных электростанций; соответствующие материалы и методология. Проводятся материалы по аналитическому иерархическому процессу, ранжированию кластера макросов. В выводах излагаются предпосылки развития инфраструктуры солнечной энергетики в Республике Гана, расширения сети передачи энергии. Выявлен кластер с самыми большими подходящими площадками для установки PV SPP, макрокластеры второго и третьего приоритетов. Определены сравнительно небольшие кластеры, способные обеспечить устойчивую доступность энергии для менее развитых небольших общин в стране.

В **четвертой главе** рассмотрены аспекты технико-экономического анализа потенциала возобновляемых источников энергии в Республике Гана. Кратко освещены вопросы оптимизации и технико-экономической оценки применения концентрированной солнечной энергии в Юго-Западной Африке; изложены принципы действия концентрирующих солнечных систем и методология их применения. Проведено обстоятельное сравнение фотоэлектрических электростанций с накопителями энергии и без них. Отдельно проведены технико-экономическое обоснование и экономический анализ гибридной энергосистемы для южной части Республики Гана; оценена производительность, деградация и потери энергии для солнечного фотоэлектрического модуля в погодных условиях страны. Сделаны выводы по сравнению солнечных систем для городов Навронго и Тамале, по фотоэлектрическим системам без накопителей и с таковыми для городов Суньяни и Нсавам. Обращено внимание на факт отрицательного влияния высокой температуры на характеристики фотоэлектрического модуля – потеря производительности модуля достигла почти 13 %.

Пятая глава содержит материалы экспериментальной оценки различных механизмов повышения эффективности фотоэлектрических модулей. Рассмотрено влияние на характеристики модуля двойного поверхностного охлаждения; использование комбинации материала с фазовыми изменениями и алюминиевых рёбер; использование комбинации активного и пассивного охлаждающих механизмов.

В **заключении** кратко подведены итоги выполнения работы.

6. Общая оценка диссертации, в целом, положительная. Поставленная цель исследования достигнута. Обозначенные задачи решены. Научные и практические результаты исследования представляют несомненный интерес для научных, проектных и конструкторских организаций, специализирующихся в области методов и технологий увеличения продуктивности и эффективности электроэнергетических систем.

Работа апробирована в достаточной степени. Результаты исследования доказывались на пяти международных научно-технических конференциях. Опубликовано 25 статей в журналах из Перечня ВАК, из них 23 статьи в зарубежных изданиях, входящих в международные базы цитирования Scopus и

Web of Science.

7. Замечания:

1. На стр. 48 диссертации (Fig. 2.12) и стр. 11 автореферата (Рис.6) представлены средние скорости ветра в различных территориальных кластерах ВЭУ на высоте 50 м в Республике Гана. Не ясно - за какое время проведено осреднение? Или это осреднение по нескольким датчикам в каждом из кластеров A-N за один год?
2. При рассмотрении Fig. 4.5 (энергостанция в Навронго) и Fig. 4.6 (энергостанция в Тамале) на стр. 90 и 91 диссертации, минимумы энергии приходятся на июль. Как это можно объяснить?
3. На стр. 104 и 105 диссертации приведены Fig. 4.18-4.20. Необходимо пояснить - что они иллюстрируют? Это средние значения за один год или несколько?
4. Нет выносок на Fig. 5.5 (Стр. 158 диссертации), что затрудняет восприятие конструктивной схемы экспериментальной установки. При этом, в автореферате (Рис. 15 на стр.19) представление материала гораздо информативнее!
5. При рассмотрении варианта солнечных фотопанелей с парафиновыми ёмкостями (п.5.2 диссертации) ничего не сказано о принципах выбора (расчёта) самих объёмов с теплоаккумулирующим материалом;
6. На стр. 9 автореферата (Рис.2) в блок-схеме отсутствует связь с блоком «Зональные данные средней скорости ветра и высоты над уровнем моря»;
7. Судя по приводимой формуле 6 на стр. 15 автореферата, $LCOE (real)$ будет отрицательной величиной? Почему в тексте диссертации данная формула отсутствует?

Указанные замечания не снижают ценности проведенного исследования.

Автореферат соответствует диссертации и в достаточной степени дает представление об основных положениях работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация «Исследование потенциала ветровой и солнечной энергии в Республике Гана и научное обоснование площадок для размещения ВЭУ и СЭС» (Study of the potential of wind and solar energy in the Republic of Ghana and scientific justification of sites for the installation of WPP and SPP) является научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные результаты теоретического и экспериментального исследования по оценке технико-экономического потенциала и выбору территорий для размещения объектов солнечной и ветровой энергетики в Республике Гана.

Диссертация соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней ФГАОУ ВО “Уральский федеральный университет имени Первого президента России Б.Н. Ельцина”». Её автор, Агъекум Эфраим Бонах, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5. - Энергетические системы и комплексы.

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ

Доктор технических наук, старший научный сотрудник,
профессор Высшей школы гидротехнического
и энергетического строительства

Куколев Максим Игоревич

Инженерно-строительный институт
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого»
195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29
Тел.:(812) 552-64-01;
e-mail: maksim.kukolev@spbstu.ru

Я, Куколев Максим Игоревич, даю согласие на включение персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Агъекума Эфраима Бонаха, и их дальнейшую обработку.

/Куколев Максим Игоревич/ «03» июня 2022 г.

