

## ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, старшего научного сотрудника Куколева Максима Игоревича на диссертацию Касима Мухаммеда Абдулхалика Касима «Разработка и оптимизация термоэлектрических генераторов и их интеграция с фотоэлектрической панелью для применения в отдаленных районах Республики Ирак» (Development and optimization of thermoelectric generators and their integration with a photovoltaic panel for applications in remote areas of the Republic of Iraq), 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 Республика Ирак обладает высоким потенциалом использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ), хотя сейчас только 2% от всей вырабатываемой электроэнергии приходится на долю ВИЭ. Из-за разрыва между спросом и предложением на энергию в стране существует дефицит электроэнергии. Применение «традиционных» энергетических установок затруднено, особенно в отдалённых районах. Поэтому работа, посвященная исследованию термоэлектродгенераторов (ТЭГ), работающих на солнечной энергии и их использование в удаленных районах страны 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 известных теоретических и доказательных экспериментальных методов исследования с применением современных программных средств и соответствующего оборудования.

Данные были получены автором путем проведения экспериментальных исследований на созданных им установках.

*3. Научная новизна положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.* Едва ли не впервые проведены экспериментальные исследования ТЭГ для улучшения их характеристик путём применения линз Френеля, фотоэлектрических преобразователей (ФЭП), двухслойного теплообменника.

На базе программ ANSYS и кода CFD выполнен теоретический анализ ТЭГ и расчет повышения КПД в зависимости от толщины нагреваемой пластины, обращенной к солнцу и скорости потока воды на охлаждаемой поверхности ТЭГ.

Гибридная система ФЭП-ТЭГ проанализирована с использованием прикладного пакета MATLAB SIMULINK с применением алгоритмов отслеживания точки максимальной мощности (MPPT).

Автором разработан и реализован метод охлаждения ФЭП с ТЭГ и теплообменником, позволяющий повысить эффективность системы на 10-16%.

**4. Практическая ценность диссертации** заключается в создании научной базы для проектирования эффективных энергетических установок ФЭП с ТЭГ.

**5. Структура и содержание диссертационной работы.**

Материалы работы содержат 160 страниц машинописного текста, в том числе список литературы (208 источников) и 1 приложение. Диссертация состоит из введения, 5 глав основного текста, заключения и рекомендаций по дальнейшему использованию материалов. Она хорошо проиллюстрирована (98 рисунков) и содержит 21 таблицу.

Во **введении**, кратко приведя данные по актуальности темы исследования и степени её проработки, автор сформулировал цель и задачи своего исследования; определил объект, предмет и методы исследования. Здесь же приводятся основные положения диссертации выносимые на защиту. Далее декларированы научная новизна, теоретическое и практическое значение работы, оценены её достоверность и обоснованность.

**Первая глава** посвящена обзору источников по рассматриваемой теме. Здесь, применительно к Республике Ирак, анализируется состояние производства энергии вообще, состояние производства возобновляемой энергии и текущая энергетическая политика страны. Проявлены проблемы с выработкой электроэнергии, оценены потенциалы ветроэнергетики, солнечной энергетик, биоэнергетики и гидроэнергетики.

Сделаны выводы по первой главе. Отмечено, что основные проблемы систем с применением термоэлектрических генераторов (ТЭГ), связанные с низкой эффективностью преобразования энергии и необходимостью постоянного источника тепла, все еще существуют. В доступных источниках практически отсутствуют эмпирические доказательства гипотетических эффектов ТЭГ для их реализации в крупномасштабных энергетических проектах. Вопросы, связанные с проектированием и применением ТЭГ в практических, мощных и экономически эффективных электростанциях, еще не выяснены. Поэтому это исследование и призвано обеспечить заполнение выявленных пробелов и расширить знания о системах с ТЭГ путём проведения экспериментов и численного моделирования.

**Вторая глава** достаточно подробно освещает вопросы экспериментальной оценки различных механизмов для максимизации выходной мощности термоэлектрических генераторов. Рассмотрены пути повышения их производительности за счёт улучшения охлаждения, применения фазопереходных теплоаккумулирующих материалов и изменения конфигурации ТЭГ. Тщательно изложены аспекты связанные с экспериментальной установкой: принцип и механизм модуля ТЭГ, панель системы ТЭГ с линзой Френеля и без. Проанализированы ошибки измерений, достижение максимальной эффективности, влияние линзы Френеля и, кратко, экономическая составляющая рассматриваемой системы. Отдельно рассмотрена конструкция панели системы ТЭГ с двухпроходным потоком, её эффективность, влияние методов активного охлаждения на характеристики панели и т.п.

В заключении по главе отмечено, что были разработаны три системы панелей ТЭГ:

- В первой системе панель ТЭГ нагревалась солнечной энергией по всей горячей стороне модулей ТЭГ. Для рассеивания тепла с холодной стороны модулей ТЭГ использовался низкотемпературный поглотитель. Существенно, что выработка энергии ограничена поступлением солнечной радиации в течение дня.

- Вторая система использовала горячую воду в качестве источника энергии. Водопроводная вода охлаждала холодную сторону панели, прежде чем она нагревалась в солнечной системе горячей воды, а затем снова использовалась для нагрева горячей стороны панели. Эта конструкция позволяет хранить энергию в изолированном резервуаре для воды, который может быть впоследствии использован для поддержания выработки электроэнергии даже после захода солнца. Система управления водой имеет большой потенциал в бытовых применениях, особенно для домов, которые уже оснащены горячей водой из солнечных нагревателей. Другим преимуществом этой системы является то, что избыточная энергия горячей воды после выхода из панели ТЭГ может быть повторно использована в быту.

- Третья система аналогична второй по принципу работы, однако конфигурация панели и количество модулей в панели различны.

В **третьей главе** изложены материалы по экспериментальному исследованию по гибридизации системы «фотоэлектрическая панель и термоэмиссионный генератор» (ФЭП-ТЭГ) для общего повышения эффективности с использованием теплообменников, анализа энергетических, энергетических и экономических затрат на получение энергии. Здесь автор использовал возможности энергетического и эксергетического подходов для рассмотрения ФЭП-модуля, ТЭГ и ФЭП-ТЭГ. Проведён анализ неопределённости и экономический анализ. Рассмотрены гибридная система ФЭП-ТЭГ, её составляющие, результаты проведённых экспериментов. ТЭГ и теплообменники использовались для улучшения функциональных возможностей и снижения рабочей температуры панели PV при использовании всего солнечного спектра в системе ФЭП-ТЭГ.

Сделаны выводы, что эффективность и выходная мощность энергоустановки значительно улучшаются с помощью системы ФЭП-ТЭГ, применение модуля ТЭГ с охлаждением приводит к снижению средней температуры системы ФЭП-ТЭГ, в среднем прирост выработки электроэнергии увеличивается на 16,4 %. Таким образом, в условиях жаркого климата Республики Ирак можно использовать предлагаемый механизм охлаждения и модуль ТЭГ для улучшения характеристик ФЭП и получения большей мощности.

**Четвертая глава** посвящена теоретическому анализу ТЭГ в программе ANSYS с использованием кода CFD. Приведены расчёты увеличения КПД от толщины нагреваемой пластины, обращенной к солнцу и скорости потока теплоносителя (воды) на охлаждаемой поверхности ТЭГ.

В заключении к главе отмечено, что была разработана новая модель CFD для анализа эффективности системы ФЭП-ТЭГ. Выходные данные модели хорошо согласуются с экспериментальными данными, что делает ее мощным инструментом для проектирования подобных систем.

**Пятая глава** посвящена теоретическому исследованию гибридной системы ФЭП-ТЭГ в программе MATLAB SIMULINK. В программе был приме-

нен алгоритм поиска точки максимальной мощности (МРРТ). Результаты моделирования хорошо согласуются с данными предыдущих глав.

Завершают диссертацию **Заключение**, где подведены итоги выполнения работы, и **Рекомендации по использованию материалов научного исследования**.

**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 докладывались на шести международных и российских научных конференциях. Материалы работы опубликованы: 19 статей в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ (17 – в изданиях индексируемых международными базами цитирования Scopus и Web of Science).

#### **7. Замечания:**

1. В «Цели исследования» автор говорит об оптимизации системы ТЭГ. Хотя в материалах работы некоторая оптимизация действительно присутствует, но где представлена целевая функция оптимизации в явном виде?

2. При составлении расчётной модели необходимо специально оговаривать допущения и ограничения. Краткие упоминания о допущениях при моделировании гибридной системы ФЭП-ТЭГ присутствуют на стр. 102 и 105 диссертации. Этого явно недостаточно! Информации об ограничениях в работе нет.

3. В автореферате, при перечислении пунктов научной новизны диссертационного исследования (п.б), говорится: «Показано, что электрическая мощность модулей ТЭГ уменьшается, если используется одна линза Френеля с большой площадью, и наоборот, мощность увеличивается, если применяется несколько линз Френеля с малой площадью». Где в диссертации отражено применение нескольких линз Френеля? Почему, если проводились исследования с несколькими линзами, это не нашло отражения в выводах 1 и 2 Заключения, к примеру?

4. Требуется пояснение по выводу 7. Как объяснить с точки зрения физики процесс увеличения теплового потока между горячей и холодной сторонами ТЭГ при увеличении толщины пластины?

5. На рисунках 2-9, 2-10, 2-15, 2-23b, 2-24, 2-31a, 2-33, 2-36, 4-3, 4-4 отсутствуют выносные линии с объяснением составляющих конструкции и габаритные размеры. Это затрудняет восприятие материала.

6. Судя по материалам диссертации, экспериментальные исследования проведены за один день. Каково количество замеров фиксируемых величин и является ли это достаточным для репрезентативности результатов?

Указанные замечания не снижают ценности проведенного исследования.

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

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация «Разработка и оптимизация термоэлектрических генераторов и их интеграция с фотоэлектрической панелью для применения в отдаленных районах Республики Ирак» (Development and optimization of thermoelectric generators and their integration with a photovoltaic panel for applications in remote areas of the Republic of Iraq) является научно-квалификационной работой, в которой изложены обоснованные результаты теоретического и экспериментального исследований, позволяющих разрабатывать более эффективные системы ФЭП-ТЭГ для применения в отдаленных районах Республики Ирак с целью снижения дефицита электроэнергии.

Диссертация соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени Первого президента России Б.Н. Ельцина»». Её автор, Касим Мухаммед Абдулхалик Касим, 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

КукOLEв 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, КукOLEв Максим Игоревич, даю согласие на включение персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Касима Мухаммеда Абдулхалика Касима, и их дальнейшую обработку.

\_\_\_\_\_/КукOLEв Максим Игоревич/

«13» 03 2023 г.