

## ОТЗЫВ

официального оппонента Слепцов Владимир Владимирович, д.т.н., профессора, на диссертационную работу Абдали Лаит Мохаммед Абдали «Разработка системы управления и алгоритма повышения эффективности работы гибридных ветро-солнечных электростанций», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

### 2.4.5. Энергетические системы и комплексы

#### **Актуальность темы**

Быстрое развитие технологий солнечной (фотоэлектрической) и ветровой энергии в последние годы сделало эти технологии конкурентоспособными альтернативами традиционным энергетическим системам. Параллельно с этим развитием фотоэлектрические, ветровые и гибридные энергетические системы внесли значительный вклад в повседневную жизнь в развивающихся странах, где треть населения мира живет без электричества. Поэтому актуальной становится проблема создания локальных энергосистем, которые удовлетворяют потребности в электрической энергии сельских районов и жилых поселков. Одним из перспективных направлений для решения этой проблемы являются гибридные энергосистемы, состоящие из ветрогенераторов, солнечных батарей и накопителей электрической энергии. Эти локальные источники электрической энергии могут удовлетворить потребности небольших посёлков и деревень, которые, достаточно часто находятся в труднодоступных местах (горная местность, северные районы, острова и т.д.). Необходимое потребление электроэнергии на душу населения может быть обеспечено разработкой гибридной системы генерации электроэнергии.

Одной из ключевых проблем, обеспечивающих широкое применение фотоэлектрических и ветроэнергетических генераторов, является разработка технологий, обеспечивающих максимальную мощность гибридной системы

при изменении климатических, радиационных, температурных условий, а также скорости и направления ветра. Суть этой работы заключается в разработке алгоритмов поиска и выбора точки максимальной мощности и стратегии управления базовыми элементами, что является эффективным инструментом для повышения производительности гибридной энергосистемы.

Не менее актуальной является задача практической реализации разработанных технологий в конкретных климатических условиях. В работе возможность использования гибридных систем для снижения дефицита электроэнергии прорабатывалась в Ираке и в Крыму. Экспериментально было показано, что счет повышения эффективности системы управления при резких изменениях климатических условий повышается объем выработки электроэнергии на 10-15 %.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертация содержит введение, 4 глава, заключение, список литературы из 111 наименований и приложения. Всего в диссертации 192 страниц, 109 рисунков и 23 таблицы.

В разделе «**введение**» доказываемся актуальность темы диссертации, формируются цель и задачи диссертационного исследования.

**В первой главе** рассмотрены системы преобразования солнечной энергии, ветрового потока в электрическую энергию. Выполнен анализ систем накопления и хранения электрической энергии. Проведен анализ и математическое моделирование работы солнечного элемента фотоэлектрической установки. Выполнен обзор работ в области оценки мощности солнечной радиации. Установлено, что на производительность фотоэлектрических панелей также влияют другие факторы, такие как азимут, затенение и угол наклона фотоэлектрических панелей.

В разделе обсуждаются ветровые турбины их динамические характеристики, анализируется электрическая схема, структурная модель и

установки лопастей. В этой главе также проанализированы типы аккумуляторов. Отмечено, что литий-ионные аккумуляторы являются наиболее эффективными аккумуляторами для решения поставленных в диссертации задач.

**Вторая глава** описывает методы управления гибридных систем преобразования энергии с применением предложенных в работе модифицированных алгоритмов. Описывается динамическая имитационная модель компонентов фотоэлектрической установки, ветровой турбины и литий-ионной батареи. Моделирование и симуляция выполнены с использованием программных пакетов Matlab /Simulink и HOMER Pro x64.

Для ветровой турбины результаты моделирования показывают, что метод управления эффективно поддерживает выходную мощность генератора до его номинального уровня при высоких скоростях ветра. Был предложен метод, использующий сравнение P&O-метода с TSR-методом (изменение коэффициента быстроходности) при определении ТММ при быстром изменении скоростей ветра.

Показано, что метод инкрементной проводимости (ИП) фотоэлектрического модуля более эффективен, основными факторами, от которых зависит алгоритм ИП, являются наклон кривой P-V (мощностной характеристики),  $dI$  и  $dV$  — изменения тока и напряжения, которые напрямую влияют на сопротивление нагрузки при изменении солнечного излучения

Чтобы повысить экономичность и эффективность фотоэлектрических систем, предложен улучшенный алгоритм инкрементной проводимости (ИП) для системы управления точкой максимальной мощности (ТММ). Это не только оптимизирует энергосистему, но также повышает эффективность, скорость отклика и точность отслеживания работы фотоэлектрических панелей, обеспечивая тем самым её стабильную работу. Для аккумуляторной батареи были проведены исследования динамического изменения параметров (зарядки и разрядки) литий-ионной батареи, с учетом состояния заряда

аккумулятора. Показано, что, когда состояние заряда аккумулятора находится в пределах 20–100 %, ошибка между смоделированным напряжением и фактическим напряжением не превышает 6 %.

**Третья глава** посвящена экспериментальным исследованиям гибридной ветро-солнечной установки, расположенной на полигоне Севастопольского госуниверситета. Описано функциональное назначение системы генерации электроэнергии с несколькими источниками и её использование на практике. При помощи программного пакета Matlab/Simulink была смоделирована гибридная энергетическая установка и её информационно-управляющая система. Показано, что эффективность работы предложенной конструкции значительно возрастает при комбинированной выработке электроэнергии ветроэлектрической установкой и фотоэлектрическими панелями. Это особенно актуально в районе территории Севастополя за счет уникального расположения полигона на открытой местности на склоне побережья Черного моря с высокой долей солнечной радиации и большой скоростью ветра.

**В четвертой главе** представлены данные исследования производительности гибридной системы, которая использует как солнечную, так и ветровую энергию для провинции Наджаф и повышения эффективности энергетического комплекса. Исследование, представленное в этой главе направлено на экспериментальное изучение производительности гибридной системы, которая использует как солнечную, так и ветровую энергию в качестве возобновляемых источников энергии с дополнительной аккумулирующей батареей. Было доказано преимущество максимизации выходной мощности и сохранения энергии в источнике питания постоянного тока.

В результате выполненных исследований созданы компоненты гибридной ветро-солнечной электростанции и определены ее оптимальные технические характеристики, что позволяет внедрять разработки в городе Севастополе и Ираке.

## **Научная новизна диссертационного исследования**

1. Предложен и исследован с применением имитационного моделирования эффективный метод управления выходными параметрами гибридной энергосистемы на основе ветряного генератора и солнечной батареи.
2. Разработан алгоритм инкрементной проводимости управления отбором электрической энергии от солнечных панелей, который позволяет снизить время установки на 2 секунды в точку максимальной мощности при изменении потока солнечной радиации, что повышает эффективность работы фотоэлектрической системы на 4,3%.
3. Усовершенствован алгоритм управления режимами отбора электрической энергии от ветрогенератора, на 8% позволяющий снизить время установки в точку максимальной мощности при изменении скорости ветрового потока.
4. Разработана принципиальная модель комбинированной гибридной энергетической системы с повышенной генерацией электрической энергии до 12% за счет применения в системе управления модифицированных алгоритмов инкрементной проводимости, возмущения и наблюдения

### **Степень обоснованности и достоверности научных результатов, выводов и положений**

определяется корректным применением общепринятых положений теории имитационного моделирования и практической оценки технико-экономического анализа, методов статистического наблюдения и обработки информации. Достоверность научных выводов и рекомендаций основана на экспериментальных результатах, полученных автором посредством исследований, и базируется на доказанных и корректно используемых выводах фундаментальных и прикладных наук, которые нашли применение в диссертационной работе.

## **Практическая значимость диссертации**

С использованием системного анализа и модифицированных алгоритмов управления энергией ветряными турбинами и солнечными фотоэлектрическими модулями. Определены конфигурации и характеристики оборудования энергетического комплекса; Применение результатов работы на практике позволяет повысить КПД, мощность и выработку гибридных ветро-солнечных электростанций в Республике Ирак, стран, расположенных на Ближнем Востоке, а также для южных регионов России.

**Общая оценка диссертации** положительная. Цель исследования соискателем достигнута. Поставленные задачи успешно решены. Практические результаты исследования представляют несомненный интерес для научных, проектных и инженерных организаций, специализирующихся на использовании возобновляемых источников энергии.

Благоприятное впечатление производит факт широкой апробации основных результатов работы. Они представлены в 24-ти публикациях, из них 14 статей опубликованы в зарубежных изданиях, входящих в международные базы цитирования Scopus и Web of Science. 10 статьи опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ. 18 статей опубликованы в сборниках международных и российских научных конференций и РИНЦ.

### **Вопросы и замечания:**

1. В работе нет данных по натурным исследованиям солнечных ветровых солнечных электрических станций на различных территориях Иракской Республики.
2. Для своих теоретических и практических исследований автор выбрал систему мощностью 1,8 кВт, однако нет данных по исследованиям электростанций больших мощностей, которые проектируются и строятся в мировой энергетике. Для таких станций выходные характеристики могут отличаться в сравнении с приведенными в

исследованиях. Полезно было бы привести данные о выработке энергии на единицу площади, которую занимает установка вместе с зоной обслуживания.

3. В работе не учтены все параметры при работе станции в натуральных условиях в Ираке, которые воздействует на характеристики ветряного генератора и солнечной батареи. Эти данные могут оказывать значительные воздействия, особенно важны различные климатические условия такие как скорость ветрового потока, атмосферная температура, нагрев панелей и др. В результате при работе или моделировании работы в натуральных условиях с учетом выше указанных параметров конечная выработка установок может меняться.
4. Качество рисунка 4.24 оставляет желать лучшего.

Несмотря на вышеуказанные замечания работа автора представляет собой законченное научно-квалификационное исследование, выполненное на высоком уровне, и содержит новые результаты. Представленные замечания касаются частных деталей и не снижают научной и практической значимости результатов диссертационной работы.

Выводы и рекомендации, выполненные в работе, обоснованы. Результаты исследования были опубликованы в печатных изданиях в зарубежных журналах, в том числе рекомендованных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ, доложены и обсуждены на Всероссийских и Международных конференциях.

### **Заключение**

Диссертационная работа Абдали Лаит Мохаммед Абдали «Разработка системы управления и алгоритма повышения эффективности работы гибридных ветро-солнечных электростанций» соответствует паспорту специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы и является

завершенной научно-квалификационной работой, выполненной по актуальной теме.

Диссертация соответствует требованиям пункта 9 Положения о присуждении ученых степеней ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», а её автор Абдали Лаит Мохаммед Абдали заслуживает присуждения ему степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы.

Официальный оппонент

Доктор технических наук, профессор,  
Заведующий кафедрой  
«Радиоэлектроника, телекоммуникации  
и нанотехнологии» ФГБОУ ВО  
«Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский  
университет)» МАИ,  
125993, г. Москва, А-80, ГСП-3,  
Волоколамское шоссе, д. 4  
Рабочий телефон: +7(916) 591-13-38  
Email: [08fraktal@inbox.ru](mailto:08fraktal@inbox.ru)



Слепцов Владимир  
Владимирович

Подпись Слепцов В. В. заверяю.

Подпись:

Печать

«04» 03 2024 г.



«04» 03 2024 г.

*зам.нач. Управления по  
работе с предметами*