

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

*кандидата технических наук, Муртазаева Эннана Рустамовича
на диссертацию Аль-Руфаи Фаиз Метаб Муса*

*«Автономные источники питания пьезоэлектрического типа с прямым преобразованием энергии волн в электричество», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям:
2.4.5. Энергетические системы и комплексы (технические науки);
2.4.2. Электротехнические комплексы и системы (технические науки).*

Актуальность темы диссертации

В условиях перехода к устойчивому развитию энергетики и внедрения технологий автономного энергоснабжения, разработка источников энергии, способных эффективно использовать возобновляемые ресурсы, становится приоритетным направлением. Особенно это актуально для удалённых и морских объектов, где подвод коммуникаций невозможен или экономически нецелесообразен.

Одним из перспективных решений является преобразование механической энергии волн в электричество с использованием пьезоэлектрических элементов. Это направление сочетает в себе экологическую чистоту, конструктивную простоту, долговечность и независимость от солнечной или ветровой активности.

Диссертационное исследование Аль-Руфаи Фаиз Метаба Мусы направлено на разработку автономных источников питания на основе пьезоэлектрического эффекта для прямого преобразования энергии морских волн. Работа отвечает современным задачам энергетики, отражает международные научно-технические тенденции и носит ярко выраженную прикладную значимость.

Степень обоснованности научных положений, выводов, рекомендаций, сформулированных в диссертации

Положения и выводы диссертации базируются на фундаментальных основах технических наук, а также подходах и концепциях энергетических систем. Научные положения, выводы и рекомендации, изложенные в диссертации, являются обоснованными и достоверными. Они основаны:

- на применении общепринятых методов анализа и математического моделирования;
- на результатах экспериментальных исследований, проведённых на специально созданной установке;
- на корректной интерпретации данных моделирования и опытных испытаний;
- на сравнительном анализе различных типов пьезоэлементов и интерфейсных схем.

Все выводы и рекомендации логически вытекают из проведённых исследований и подкреплены количественными и качественными данными. Полученные результаты согласуются с известными закономерностями физики пьезоэлектрических процессов и принципами электронного управления.

Таким образом, можно сделать вывод, что представленные в работе гипотезы и подходы имеют прочную научную основу и могут быть использованы для дальнейшего совершенствования автономных систем энергообеспечения.

Достоверность положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Результаты данной работы подтверждаются применением научно обоснованных и проверенных методов расчета возобновляемых источников энергии, современными инженерными программами, такими как COMSOL Multiphysics, используемыми для моделирования работы пьезоэлектрических элементов.

По результатам диссертационной работы опубликованы 17 научных работ, из них 8 статей в рецензируемых научных журналах, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ, в том числе 2 статьи в журналах, индексируемых в Scopus; а также 9 тезисов докладов и статей международных научно-практических конференций и научных журналов: «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность» (сентября 2023, Севастополь, Севастопольский государственный университет); «Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения» г. Астана, марта 2025; «International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Environmental Technologies» (EMMFT-2024), Astana, Kazakhstan.

Практические рекомендации по применению новых методических разработок по формированию и оптимизации производственной программы прошли апробацию и внедрены в деятельности предприятий: ООО «Марлин-Юг» г. Севастополь; «Handiest Almodn Alarabia CO.»; «Toloa Alfajir CO.» и «Alsakhaa CO.» (имеются акты внедрения).

Все изложенное позволяет сделать заключение о достоверности положений, выносимых на защиту.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Впервые предложена система преобразования энергии волн в электрическую с применением пьезоэлектрических преобразователей.

2. Разработаны новые интерфейсные схемы для эффективного преобразования энергии от морских волн, предназначенные для создания автономного морского оборудования.

3. Разработаны и экспериментально проверены инновационные схемы извлечения заряда, демонстрирующие высокие показатели эффективности при преобразовании энергии.

4. Проведена оценка эффективности разработанных пьезоэлектрических схем для энергообеспечения в устройствах, использующих дрейфтерные технологии.

Характеристика структуры и содержания диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Основная часть работы состоит из 198 страниц печатного текста, 105 рисунков и 15 таблиц. Библиографический список содержит 145 наименования источников.

Первая глава диссертации, озаглавленная «Анализ и классификация существующих волновых энергетических установок и электростанций», посвящена всестороннему исследованию современного состояния разработок в области преобразования энергии морских волн. В начале главы представлен аналитический обзор научных трудов, касающихся конструкций и принципов работы волновых электростанций. Особое внимание уделено классификации существующих типов преобразователей энергии волн, а также перспективным проектам их применения.

В рамках исследования были проанализированы гидродинамические параметры волн в акватории Севастополя, что позволило оценить потенциал использования волновой энергии в данном регионе. Также выполнен детальный анализ методов применения пьезоэлектрических преобразователей для прямого преобразования энергии волн в электричество.

Отдельно рассмотрена проблема энергообеспечения маломощного автономного морского оборудования. В настоящее время такие устройства, как правило, используют аккумуляторы в качестве единственного источника питания, что значительно ограничивает срок их автономной работы и требует частой замены или подзарядки батарей. Это подчеркивает необходимость разработки альтернативных решений для повышения энергоэффективности и продления срока службы подобного оборудования.

Таким образом, в первой главе определены объект и предмет исследования, обоснована актуальность темы, а также сформулированы цели и задачи дальнейшей работы.

Вторая глава диссертации «Разработка системы преобразования энергии волн в электрическую с применением пьезоэлектрических элементов», посвящена исследованию возможностей генерации электроэнергии с использованием пьезоэлектрических элементов под действием морских волн.

В рамках главы были разработаны две конструктивные модели:

- модель погруженного пьезоэлемента (ППЭ), находящегося в непосредственном контакте с волновым потоком;
- модель непогруженного пьезоэлемента (НПЭ).

Для анализа взаимодействия жидкостного потока с пьезоэлектрической системой было выполнено компьютерное моделирование в программной среде COMSOL Multiphysics. Полученные результаты моделирования сопоставлялись с экспериментальными данными для проверки их корректности и достоверности.

Анализ результатов показал, что модель НПЭ обеспечивает выходную мощность, превышающую мощность модели ППЭ примерно в 1,5 раза. Такое различие в эффективности позволяет сделать вывод о значительном влиянии конструктивных особенностей на производительность системы. Непогружная конфигурация продемонстрировала более высокую стабильность и надежность работы, что делает её более предпочтительной для практического применения.

Таким образом, второй раздел диссертации представляет собой теоретическую и экспериментальную основу для выбора оптимальной конструкции пьезоэлектрической системы, предназначенной для преобразования энергии морских волн в электрическую энергию.

Третья глава диссертации «Структурный синтез электрических схем для пьезоэлектрических систем», посвящена анализу и сравнению различных электронных схем, используемых для преобразования и управления энергией, генерируемой пьезоэлектрическими элементами под действием вибраций и волновых воздействий.

Целью данной главы являлось выявление наиболее эффективной интерфейсной схемы, способной повысить коэффициент полезного действия (КПД) процесса сбора энергии и обеспечить стабильную работу системы. Для достижения этой цели были рассмотрены и проанализированы различные подходы к построению электрических цепей, включая: стандартные выпрямительные схемы (СТ-ПМВ) и схемы синхронного извлечения электрического заряда (СИЭЗ).

Особое внимание уделено схеме СИЭЗ_{опт-с} — оптимизированному варианту синхронного извлечения заряда с самопитанием, предложенному автором. Было проведено моделирование всех рассмотренных схем при различных параметрах нагрузки и частотах колебаний. Результаты показали, что схема СИЭЗ_{опт-с} обеспечивает максимальную выходную мощность и наилучшую стабильность работы, что делает её наиболее перспективной для использования в автономных пьезоэлектрических системах.

Автором также выполнен структурный синтез электрических схем, позволивший выявить ключевые факторы, влияющие на эффективность преобразования энергии: уровень внутреннего сопротивления, ёмкость накопителя,

время реакции ключевых элементов и характер внешних механических воздействий. В результате анализа была разработана рекомендательная методика выбора оптимальной схемы в зависимости от условий эксплуатации и требований к выходным параметрам.

Таким образом, третья глава представляет собой теоретическую и практическую основу для построения высокоэффективных электрических цепей в составе пьезоэлектрических систем сбора энергии. Полученные результаты легли в основу дальнейших экспериментальных исследований и практической реализации устройства.

Четвертая глава диссертации «Экспериментальное исследование цепей, используемых в пьезоэлектрических системах», посвящена практической проверке эффективности различных электрических схем, применяемых в пьезоэлектрических системах преобразования энергии волн. Особое внимание уделено их применимости для использования в автономных морских буях, где требуется надёжное и стабильное электропитание маломощных устройств.

Глава начинается с описания экспериментальной установки и методики исследования, разработанной для анализа трёх основных типов интерфейсных схем: стандартная схема полного мостового выпрямителя (СТ-ПМВ), схема синхронного извлечения электрического заряда с автопитанием (СИЭЗс) и оптимизированная схема синхронного извлечения заряда с автопитанием (СИЭЗопт-с).

Целью экспериментальных исследований являлось: изучение влияния параметров компонентов схем на выходную мощность, определение оптимальных значений элементов для достижения максимальной энергоэффективности и сравнительный анализ производительности всех рассмотренных схем при одинаковых условиях нагрузки.

В ходе экспериментов были получены количественные данные, характеризующие выходные параметры каждой из схем. Результаты показали, что: схема СИЭЗопт-с обеспечивает наибольшую выходную мощность — 950 мкВт; стандартная схема СТ-ПМВ демонстрирует меньшую эффективность — 400 мкВт.

Данные результаты подтверждают, что модифицированная схема СИЭЗопт-с является наиболее эффективной для применения в пьезоэлектрических системах сбора энергии от волновых воздействий. Она обеспечивает не только более высокую мощность, но и лучшую стабильность выходного сигнала, что особенно важно для питания маломощных автономных устройств, таких как датчики и передатчики, установленные на морских буях.

Таким образом, четвёртая глава завершает экспериментальную часть исследования и служит основой для выводов и рекомендаций, представленных в заключении диссертационной работы.

Замечания по диссертации

Несмотря на высокое качество работы, следует отметить следующие замечания:

1. Какие основные факторы повлияли на выбор поливинилиденфторида (ПВДФ) в качестве материала для пьезоэлектрического элемента?
2. Полученные результаты показывают высокую эффективность системы в составе маломощных автономных устройств. Какие технические и конструктивные ограничения возникают при адаптации технологии к более высоким уровням энергопроизводительности??
3. В рпботе встречаются неудачные выражения и опечатки.
4. Рекомендуется расширить экспериментальную часть в реальных морских условиях.

Указанные замечания не снижают значимость диссертационной работы.

Заключение

Автор продемонстрировал способность к самостоятельному научному поиску и предложил новые технические решения, имеющие потенциал для дальнейшего внедрения в практику.

Диссертация Аль-Руфаи Фаиз Метаб Муса на тему «Автономные источники питания пьезоэлектрического типа с прямым преобразованием энергии волн в электричество», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком уровне. Достижение поставленной в диссертационном исследовании цели сопряжено с решением целого комплекса задач, имеющих теоретическое и прикладное значение. Полученные результаты являются новыми и имеют научную и практическую ценность. Автором продемонстрированы хорошие знания современного состояния проблемы, умение применять теоретические и экспериментальные методы исследования, а также обосновать выводы и рекомендации.

Диссертация и автореферат полностью соответствуют паспорту специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы. Область исследования соответствует пункту 6 паспорта: «Теоретический анализ, экспериментальные исследования, физическое и математическое моделирование, проектирование энергоустановок, электростанций и энергетических комплексов, функционирующих на основе преобразования возобновляемых видов энергии (энергии водных потоков, солнечной энергии, энергии ветра, энергии биомассы, энергии тепла земли и других

