

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, доцента, Юферева Леонида Юрьевича
на диссертацию Аль-Руфай 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);
Электротехнические комплексы и системы (технические науки).

Актуальность темы диссертации

Развитие технологий возобновляемой энергетики является одним из приоритетных направлений научных исследований во всём мире. На фоне дефицита доступных источников энергии в отдалённых регионах, а также потребности в экологически чистых автономных системах энергоснабжения, возрастает интерес к новым способам утилизации энергии окружающей среды.

Одним из перспективных решений становится использование энергии морских волн — природного ресурса с высокой плотностью мощности и устойчивым характером. Особенно важной задачей становится её преобразование в электрическую энергию с использованием эффективных, миниатюрных и долговечных технологий. В этом контексте пьезоэлектрические преобразователи представляют особый интерес благодаря своей простоте, надёжности, высокой удельной мощности и отсутствию подвижных частей.

Диссертационное исследование Аль-Руфай Фаиз Метаб Муса посвящено разработке автономных источников питания, функционирующих на основе пьезоэлектрического эффекта и обеспечивающих прямое преобразование волновой энергии в электрическую. Это направление исключительно актуально и соответствует стратегическим задачам устойчивого развития энергетики, включая снижение зависимости от ископаемых ресурсов и расширение сферы применения интеллектуальных сенсорных систем.

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

Положения и выводы диссертации базируются на фундаментальных основах технических наук. В ходе работы автор последовательно решает комплекс задач, направленных на создание, моделирование, экспериментальное исследование и анализ схем пьезоэлектрического преобразования энергии волн. Предложенные

решения носят комплексный характер: от оценки энергетического потенциала морской среды до практической реализации преобразовательных схем.

Все научные положения обоснованы и логично вытекают из поставленных задач. Автором чётко сформулированы цели и задачи исследования, предложена и реализована оригинальная схема преобразования энергии, приведены расчёты, построены математические модели и выполнено моделирование поведения систем в различных режимах. Результаты оформлены в виде таблиц, графиков и диаграмм, что обеспечивает их наглядность и повторяемость.

Экспериментальные исследования, выполненные на лабораторных макетах, подтвердили состоятельность предложенной технической концепции. Все выводы имеют количественную основу и подтверждаются результатами расчётов и моделирования. Практические рекомендации направлены на повышение эффективности автономных систем и вполне реалистичны для дальнейшей инженерной реализации.

Достоверность положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность научных результатов диссертации подтверждается следующими аспектами:

- Использованием обоснованных математических моделей, учитывающих параметры волновой активности, геометрию пьезоэлектрических элементов и характеристики нагрузки;
- Проведением численного моделирования в современной инженерной среде
- Экспериментальной отработкой схем преобразования энергии и натурной регистрацией характеристик (напряжения, мощности);
- Всесторонним сравнением различных типов интерфейсных схем.

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 инновационного решения» г.Астана, марта 2025; «International Scientific

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. Таким образом, представленные результаты являются достоверными, научно обоснованными и верифицированными.

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, посвящённая «Анализу и классификации существующих волновых энергетических установок и электростанций», содержит всесторонний обзор современного состояния исследований в области преобразования энергии морских волн в электрическую энергию. Автор подробно рассматривает конструктивные особенности, принципы функционирования и эффективность различных типов волновых энергоустановок, а также анализирует перспективы их практического применения.

В рамках данной главы представлены:

- классификация и сравнительный анализ основных типов волновых электростанций;
- обзор пьезоэлектрических систем сбора энергии, применяемых в условиях морской среды;

- анализ гидродинамических параметров волн, в частности, у побережья Севастополя, что позволило оценить региональный потенциал использования волновой энергии;

- рассмотрение методов применения пьезоэлектрических преобразователей для прямого преобразования механической энергии волн в электрическую.

Особое внимание уделено проблеме энергоснабжения маломощного автономного морского оборудования, которое в настоящее время зачастую зависит от традиционных химических источников тока (аккумуляторов), требующих регулярной замены или подзарядки. Это ограничивает срок службы и надёжность таких устройств, особенно в удалённых и труднодоступных условиях эксплуатации. Данный анализ подчёркивает актуальность разработки альтернативных решений на основе пьезоэлектрических систем.

На основе проведённого анализа сделаны обоснованные выводы о перспективности использования пьезоэлектрических элементов в составе автономных систем электропитания. Определены ключевые направления дальнейших исследований, сформулированы объект и предмет исследования, а также поставлены цели и задачи диссертационной работы.

Таким образом, первая глава выполнена на высоком научном уровне, содержит достаточный объём ссылок на отечественные и зарубежные исследования и служит прочной теоретической базой для последующего изложения результатов исследования.

Вторая глава диссертации «Разработка системы преобразования энергии волн в электрическую с применением пьезоэлектрических элементов», посвящена разработке и исследованию системы преобразования энергии морских волн в электрическую энергию с использованием пьезоэлектрических элементов. В ней представлены две модели пьезоэлектрических систем, а также результаты их моделирования и сравнительного анализа.

Цель данной главы — разработка конструктивных решений пьезоэлектрических систем, обеспечивающих эффективное преобразование энергии волн. Автор были выполнены:

- Проектирование двух типов пьезоэлементов,
- Численное моделирование их поведения под воздействием волн,
- Экспериментальная проверка полученных результатов.

В рамках исследования разработаны две модели:

- Модель погруженного пьезоэлемента (ППЭ), взаимодействующего непосредственно с волновым потоком;

- Модель непогруженного пьезоэлемента (НПЭ), в которой механические колебания передаются через связанный преобразователь.

Моделирование гидродинамического взаимодействия и пьезоэлектрического отклика проведено с использованием программной среды (COMSOL Multiphysics). С помощью компьютерного моделирования определены параметры деформации пьезоэлементов под действием волновых нагрузок и рассчитаны соответствующие выходные электрические характеристики.

Результаты компьютерного моделирования были сопоставлены с данными физических экспериментов, что позволило подтвердить адекватность используемых моделей. Показано хорошее согласование между теоретическими расчётами и экспериментально измеренными значениями напряжения и мощности. Автор показал, что модель НПЭ обеспечивает выходную мощность примерно в 1,5 раза выше, чем модель ППЭ.

Вторая глава представляет собой теоретическую и экспериментальную основу для выбора наиболее эффективной конструкции пьезоэлектрической системы. Полученные результаты легли в основу последующих исследований по оптимизации интерфейсных электрических схем.

Третья глава диссертации «Структурный синтез электрических схем для пьезоэлектрических систем», посвящена разработке, анализу и сравнению различных электрических схем, применяемых в пьезоэлектрических системах сбора энергии. Основной задачей главы являлось выявление наиболее эффективной интерфейсной схемы, способной повысить коэффициент полезного действия преобразования механической энергии волн в электрическую энергию.

Цель исследования — выбор и оптимизация электрической схемы, обеспечивающей максимальную эффективность сбора и преобразования энергии от пьезоэлементов.

в работе рассмотрены и проанализированы следующие типы схем:

- Стандартная схема полного мостового выпрямителя (СТ-ПМВ);
- Схема синхронного извлечения электрического заряда с самопитанием СИЭЗс);
- Оптимизированная схема синхронного извлечения заряда с самопитанием (СИЭЗопт-с), предложенная автором.

Особое внимание уделено схеме СИЭЗопт-с, которая представляет собой усовершенствованную версию классической схемы синхронного извлечения заряда. Автором показано, что данная схема обеспечивает: снижение потерь энергии, повышение выходной мощности и стабильность работы в условиях переменных внешних воздействий.

В ходе компьютерного моделирования было установлено, что: схема СИЭЗопт-с демонстрирует наибольшую эффективность, достигается стабильный выходной сигнал даже при изменении параметров входного воздействия и схема позволяет более чем в два раза увеличить доступную выходную мощность по сравнению со стандартными решениями.

Третья глава представляет собой теоретическую основу для построения высокоэффективных электрических цепей в составе пьезоэлектрических систем сбора энергии. Разработанная схема СИЭЗопт-с имеет значительный потенциал для практического применения в автономных системах электропитания.

Четвертая глава диссертации «Экспериментальное исследование цепей, используемых в пьезоэлектрических системах», посвящена экспериментальному исследованию электрических схем, применяемых в пьезоэлектрических системах преобразования энергии волн. Целью главы являлось практическая проверка эффективности различных интерфейсных схем и выбор наиболее перспективного варианта для использования в автономных морских устройствах. Был проведен экспериментальный анализ различных схем преобразования энергии; изучение влияния параметров компонентов на выходную мощность и определение оптимальных значений элементов для достижения максимальной эффективности.

Исследования проводились на специально разработанной экспериментальной установке, имитирующей воздействие морских волн на пьезоэлементы.

В ходе экспериментов тестировались три типа электрических схем:

- Стандартная схема полного мостового выпрямителя (СТ-ПМВ);
- Схема синхронного извлечения заряда с самопитанием (СИЭЗс);
- Оптимизированная схема (СИЭЗопт-с), предложенная автором.

В работе были получены количественные данные о выходной мощности каждой из схем при одинаковых условиях нагрузки.

Эксперименты показали, что: схема СИЭЗопт-с обеспечивает максимальную выходную мощность — 950 мкВт и схема СТ-ПМВ демонстрирует значительно меньшую эффективность — 400 мкВт. Также отмечена более высокая стабильность и надёжность работы схемы СИЭЗопт-с, что особенно важно для условий переменного механического воздействия. Показано, что схема СИЭЗопт-с обладает лучшими показателями по всем параметрам и может быть рекомендована для применения в маломощных автономных устройствах, таких как морские буи и беспроводные сенсоры.

Четвёртая глава завершает экспериментальную часть исследования и демонстрирует практическую реализуемость предложенных решений. Полученные данные подтверждают высокую эффективность схемы СИЭЗопт-с, которая обеспечивает не только увеличенную выходную мощность, но и стабильное

функционирование в условиях переменных волновых воздействий. Это делает её наиболее подходящей для использования в реальных автономных системах электропитания.

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:

отсутствует углублённый анализ долговечности и деградации ПЭ-элементов в морской среде. Учитывая воздействие солёной воды, биологических отложений и механических нагрузок, важно оценить реальный срок службы элементов.

не раскрыт потенциал применения гибридных схем, сочетающих ПЭ-преобразование с другими методами получения энергии (солнечными, термоэлектрическими и др.) так применение преобразования солнечной (световой) энергии дало бы больший и более стабильный выход энергии, особенно во время штиля.

в работе моделируются воздействия на пьезоэлемент с частотой 10-20-..50 Гц, не понятно с чем связан выбор таких частот, при том что автор указывает период между волнами 3 секунды и что волны генерируют частоты 0-10Гц.

электрические схемы нарисованы не по стандартам, в них отсутствуют точки соединения элементов, это затрудняет понимание принципа работы.

схемы 4.11б и 4.13б одинаковые, хотя называются по разному. Так же зачем-то дублируются схемы 3.7 – 3.16 – 4.5, 3.19 – 4.8, 3.12 – 4.2.

основные выводы не соответствуют поставленным задачам, отсутствуют выводы по задачам 1, 2, 6.

положения выносимые на защиту не являются сформулированной мыслью или утверждением, а являются пунктами из оглавления.

Указанные замечания не снижают значимость диссертационной работы.

Заключение

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

солнечной энергии, энергии ветра, энергии биомассы, энергии тепла земли и других видов возобновляемой энергии) с целью исследования и оптимизации их параметров, режимов работы, экономии ископаемых видов топлива и решения проблем экологического и социально-экономического характера»;

и специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы. Область исследования соответствует пункту 3: «Разработка, структурный и параметрический синтез, оптимизация электротехнических комплексов, систем и их компонентов, разработка алгоритмов эффективного управления».

Диссертационная работа Аль-Руфайи Фаиза Метаба Мусы представляет собой полноценное научно-квалификационное исследование, выполненное на высоком уровне. Автором проделана значительная теоретическая и практическая работа по разработке и оптимизации автономных пьезоэлектрических источников питания на основе преобразования волновой энергии. Результаты работы обладают научной новизной, высокой степенью достоверности и практической значимостью.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации, имеет логически грамотное построение и последовательность изложения результатов исследования.

По результатам диссертационного исследования автором опубликовано достаточное количество научных работ. Диссертационная работа удовлетворяет требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, а ее автор, Аль-Руфайи Фаиз Метаб Муса, заслуживает присуждения 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).

Официальный оппонент:

доктор технических наук, доцент,
ФГБНУ «Федеральный научный
агроинженерный центр ВИМ»,
г. Москва, главный научный сотрудник
отдела энергообеспечения АПК;

Юферев Леонид Юрьевич

Контактная информация:

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»,
109428, РФ, г. Москва, 1-й Институтский проезд, дом 5
Телефон: +7(903) 688-67-61

«21» мая 2025 г.

Подпись Юферова Л. Ю. заверяю



С. С. Соколов
Зав. отделом