

Кимкетов Эдуард Майевич

Методология ресурсного и технико-технологического обоснования целесообразности применения энергетических установок на основе самовосстанавливаемых источников энергии (СВИЭ) в условиях Абхазии

Специальность 05.14.08 – Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Сухум 2024г.

Работа выполнена в государственном научном учреждении « Сухумском физико-техническом институте Академии наук Абхазии»

Научные консультанты:

Экба Январби Алиевич, доктор ф.-м. н., профессор
вице-президент АНА, Академик АНА,
Марколия Анатолий Иванович, доктор тех. наук,
Академик АНА

Официальные оппоненты:

Видовский Леонид Адольфович, доктор тех. наук,
профессор кафедры Информационных систем и
программирования, института компьютерных систем
и защиты информации, Кубанский государственный
технологический университет ,
Шевцов Юрий Дмитриевич, доктор тех. наук,
профессор, проф. кафедры Транспортных процессов
и технологических комплексов, Института механики,
робототехники, инженерии транспортных и тех. систем
Кубанский государственный технологический
университет,
Тахтамышев Хизир Махмудович, доктор тех. наук,
профессор кафедры строительства, транспорта,
машиностроения и энергетики, ГАОУ ВО
Невинномысский государственный гуманитарно-
технический институт

Ведущая организация:

Майкопский государственный технологический
Университет (МГТУ)

Защита состоится «25» апреля 2024г. в 12⁰⁰ часов на заседании разового диссертационного совета при ГНУ «Сухумском физико-техническом институте Академии наук Абхазии», по адресу: 384900 г. Республика Абхазия, Сухум, ул. Академика Марра 9.

С электронной версией диссертации и автореферата можно ознакомиться на сайте Академии наук Абхазии по E-mail: <http://akademga.org>. Электронную версию диссертации и автореферата можно получить, послав автору запрос по E-mail: akfz111778@mail.ru.

Автореферат разослан «5» марта 2024г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

к.ф.-м.н./ Ахсалба А.К./

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Устойчивое развитие любой страны во многом связано с использованием преимуществ безвредной альтернативной энергетики, которая базируется на самовосстанавливаемых источниках энергии (СВИЭ). Они во многих аспектах являются хорошим дополнением и даже заменой, традиционным источникам энергии, использующим не восстанавливаемые природные ресурсы. Из-за институционально-расчетных основ, созданных в последние десятилетия в ответ на экстра неординарные энерго-экономические, а также глобально-экологические сложности, СВИЭ стали необычайно интересны, с точки зрения притяжения инновационных технологий и при этом сформировали достаточно стабильно растущий энергетический рынок. Этот рынок хорошо себя зарекомендовал во время мирового кризиса 2008 года и продолжает проявлять устойчивость в условиях нынешней финансово-экономической нестабильности. При этом к СВИЭ наблюдается не уменьшающийся интерес инвесторов, особенно в связи с повышением популярности нефинансовых особенностей оценки инвестиционных активов.

Для Абхазии, как страны имеющей значительные запасы энергоресурсов и вполне приемлемого уровня компетенций в области энергетического комплекса, представляется возможным нахождение собственного пути, который опирался бы на весь мировой опыт, с целью получения значительного технико-экономического эффекта в условиях общемирового затяжного кризиса.

Таким образом, в условиях Абхазии, несомненно, высокую актуальность имеют исследования в направлении расширения технико-экономических и инновационно-востребованных площадок в области СВИЭ. При этом объективно видно, что в дальнейшем актуальность и перспективность СВИЭ будет становиться только больше, увеличивая свою составную долю в обще-энергетическом балансе Абхазии.

Степень разработанности темы. Современная энергетика характеризуется усилением диверсификации источников на базе развития новых технологий, совершенствования систем безопасности, использования новых материалов и дистанционных средств управления.

Большой вклад в развитие нетрадиционной и возобновляемой энергетики внесли российские ученые: Андреев В. М., Алферов Ж. И., Алексеев В. А., Безруких П. П., Берковский Б. М., Бутузов В. А., Виссарионов В. И., Дьяков А. Ф., Елистратов В. В., Евдокимов В. М., Заддэ В. В., Закиров Д. Г., Попель О. С., Поваров О. А., Трофимов А.И., Тверьянович Э.В., Тарнижевский Б.В., Тамаров Г. В., Тягунов М. Г. и др.

Вопросами комбинированного использования ВИЭ занимались такие ученые как: Безруких П. П., Бальзанников М. И., Васильев Ю. С., Виссарионов В. И., Денисенко В. В., Елистратов В. В., Стребков Д. С., Данилевич Л. Б., Камбаров К. А., Попель О. С. и др.

В то же время, при расчетах динамических моделей эти авторы не рассматривали использование одновременно, как электрических, так и теплогенерирующих систем ВИЭ. При этом не учитывались одновременно стохастические и детерминированные значения по широкому ряду ВИЭ для конкретного региона или местности расположения объекта.

Научная задача состоит в создании и разработке научно-методологических основ альтернативной концепции развития и внедрения комплексных энергосистем в условиях Абхазии на базе СВИЭ.

Целью настоящей работы является выявление расширенной методологической совокупности при оценке оптимально-эффективной составляющей от применения источников энергии на основе СВИЭ для условий Абхазии.

Основные задачи, решаемые в работе:

- 1) совершенствование схемы замещения самовозбуждающегося генератора с использованием компьютерной программы Electronic Work Bench (EWB);
- 2) исследование работы асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в режиме генератора для микроГЭС;
- 3) методико-технологическое пояснение совокупного системного оборудования для регулирования напряжения на самовозбуждающемся асинхронном генераторе ;
- 4) технико-экономическое обоснование эффективности микроГЭС для удалённых потребителей;
- 5) оптимизационно-техническое обоснование перспективности разработки, реконструкции и внедрения миниГЭС, и малых ГЭС в Абхазии, для повышения общей эффективности энергетической структуры;

- 6) технико-экономическое обоснование высокой эффективности автономной фотоэлектрической станции собранной из фотоэлектрических модулей (ФЭМ), по сравнению с другими обычными и СВИЭ;
- 7) технико-экономическое обоснование целесообразности использования геотермальной водосодержащей жидкости, на геотермальных тепловых и электрических станциях;
- 8) определение оценочно-экономической составляющей эффективности парокompрессионных тепло-насосных установок (Теп-Ну);
- 9) определение себестоимости выработки электрической энергии и минимально-возможный срок окупаемости ветроэлектростанций(ВЭС);
- 10) получение технико-экономических характеристик получения водорода при реакции электролиза воды анализ.

Научная новизна. В ходе выполнения диссертационной работы впервые:

- 1) произведен расчет экономических аспектов использования СВИЭ для производства тепловой энергии (ТЭ) и электрической энергии (ЭЭ) в условиях Абхазии;
- 2) сделан выбор методологических основ определения и расчета узлов микроГЭС;
- 3) разработана автономная система подзарядки конденсатора для собственных нужд микроГЭС;
- 4) создана совершенно новая схема замещения самовозбуждающихся асинхронных генераторов (САГ);
- 5) получены методико-технологические пояснения совокупного системного оборудования для регулирования напряжения на САГ;
- 6) определены технико-экономические обоснования эффективной работы микроГЭС;
- 7) получены оптимизационно-технические обоснования перспективности разработки, реконструкции и внедрения миниГЭС, и малых ГЭС (МГЭС), с целью увеличения эффективности всей энергосистемы в Абхазии;
- 8) выполнены технико-экономические обоснования высокой эффективности автономной фотоэлектрической станции собранной из фотоэлектрических модулей (ФЭМ); фотоэлектрических модулей (ФЭМ);
- 9) определена удельная полезная солнечная энергия для различных территорий Абхазии;
- 10) исследованы характеристически-обоснованные свойства работающих в реальных условиях ФЭМ;

- 11) проведены математически-имитационные моделирования ФЭМ в компьютерной программе Matlab/Simulink;
- 12) разработана методологически отобранная оценочная выборка геотермальных водосодержащих ресурсов в Абхазии;
- 13) получены решения по схемно-структурному геотермальному теплоснабжению;
- 14) исследованы технико-экономические обоснования целесообразности использования геотермальной водосодержащей жидкости, для выработки ТЭ и ЭЭ на геотермальных тепловых, и электрических станциях;
- 15) определена принципиально-структурная характеристика работы Теп-НУ;
- 16) разработана оценочно-экономическая составляющая эффективности парокомпрессионных Теп-НУ;
- 17) проведены исследования географо-экологических особенностей при использовании автономных ветроэлектростанций в Абхазии;
- 18) выработаны методико-расчетные принципы определения ветроэнергетических характеристик для скоростных режимов ветровых потоков;
- 19) определена себестоимость выработки ЭЭ и срок окупаемости ветроэлектрических станций (ВЭС) в условиях Абхазии;
- 20) выявлены основные области применения водородной энергетики в Абхазии;
- 21) исследован один из способов получения водорода в условиях Абхазии с использованием энергии Солнца;
- 22) определены технико-экономические характеристики получения водорода при реакции электролиза воды;
- 23) определены и исследованы принципиально-структурные характеристики работы Теп-НУ;
- 24) определены методико-расчетные принципы определения ветроэнергетических характеристик скоростных режимов ветровых потоков;
- 25) исследованы базовые принципы физических и химических процессов получения водорода, при электролизе воды.

Объект исследований – основные виды энерго-комплексных систем на базе СВИЭ, имеющие существенные перспективы использования в условиях Абхазии.

Предмет исследований – технико-экономическая эффективность энерго-комплексных систем на базе СВИЭ в производстве электрической и тепловой энергии для народно-хозяйственных нужд Абхазии.

Основная научная гипотеза исследования. Основой устойчивого развития энергетики является рост ее структурировано-спланированной устойчивости. Такое положение становится возможным, за счет задействования в перспективе всех СВИЭ, с целью повышения общей функциональной эффективности энергосистемы Абхазии.

Методы исследования. В диссертационной работе, исходя из постановки решаемых задач и с учетом особенностей исследуемых объектов, для получения основных результатов применялись как расчетно-экспериментальные, так теоретические методы исследований. При этом методологическую базу исследований составили технико-технологические основы малой гидроэнергетики, солнечной и геотермальной энергетики, тепловых насосов, ветроэнергетики, а также водородной энергетики.

Практическая ценность. Разработаны методологические рекомендации по использованию основных СВИЭ, для децентрализованных энергопотребителей. Обязательным условием, при этом является учет оценочно-расчетных, финансово-экономических и технико-технологических возможностей для выработки ТЭ и ЭЭ в условиях Абхазии.

Теоретическая и практическая значимость данной работы заключается в том, что:

- 1) произведены расчеты экономических аспектов использования СВИЭ для производства ТЭ и ЭЭ в условиях Абхазии;
- 2) произведен выбор методологических основ определения и расчета узлов микроГЭС;
- 3) осуществлены методико-технологические пояснения совокупного системного оборудования для регулирования напряжения на САГ;
- 4) определены оптимизационно-технические обоснования перспективности разработки, реконструкции и внедрения миниГЭС, и МГЭС, с целью увеличения эффективности всей энергосистемы в Абхазии;
- 5) выполнено технико-экономическое обоснование высокой эффективности автономной фотоэлектрической станции собранной из ФЭМ, по сравнению с другими обычными и СВИЭ;
- 6) исследованы технико-экономические обоснования целесообразности использования геотермальной водосодержащей жидкости, при выработке ТЭ и ЭЭ на геотермальных тепловых, и электрических станциях;
- 7) определены и исследованы принципиально-структурные характеристики работы Теп-НУ;

- 8) выявлены методико-расчетные принципы определения ветроэнергетических характеристик скоростных режимов ветровых потоков;
- 9) исследованы базовые принципы физических и химических процессов получения водорода, при электролизе воды.

Апробация работы. Результаты исследований докладывались на следующих Международных, Всероссийских, региональных и научно-практических конференциях:

- 3-ей Всероссийской научной конференции, 12-15 апреля 2005 г., Краснодар;
- 6-ой Региональной научно-практической конференции 17-18 апреля 2006г., Черкесск;
- 5-ой Всероссийской научной конференции «ВРНК», 5-6 апреля 2007 г., Краснодар;
- 7-ой Всероссийской научной конференции КГУА, 20-21 апреля 2009 г, Краснодар;
- 39-ой Всероссийской научно-практической конференции,25-28 апреля 2009г., Москва;
- 15-ой Региональной научно-практической конференции, К-ЧГТА,12-14 мая 2009 г., Черкесск;
- Научно-практическая конференция, АГУ, 15-17апреля 2013г, Сухум, Республика Абхазия;
- Научно-практическая конференция, АГУ, 20-22апреля 2014г, Сухум, Республика Абхазия;
- Научно-практическая конференция, АГУ, 18-21апреля 2016г, Сухум, Республика Абхазия;
- Научно-практическая конференция, АГУ, посвященная 85-летию АГУ, 2017г, Сухум, Республика Абхазия;
- Научно-практическая конференция, АГУ, 2018г, Сухум, Республика Абхазия;
- Научно-практическая конференция, АГУ,2019г, Сухум, Республика Абхазия;
- 11-ой Международной, конференции состоявшейся 25 декабря 2019г., Петрозаводск;
- Научно-практическая конференция, АГУ, 2020г, Сухум, Республика Абхазия;
- Научно-практическая конференция, АГУ, 2021г, Сухум, Республика Абхазия;

- Международной научно-практической конференции «ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННЫХ ИНТЕГРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ И ПОИСК ИННОВАЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ», состоявшейся 04 марта 2022 г., Челябинск;
- Научно-практическая конференция, АГУ, 2021г, Сухум, Республика Абхазия;
- Международной научно-практической конференции «СОВРЕМЕННЫЕ ЗАДАЧИ НАУЧНОЙ РАБОТЫ. ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ», состоявшейся 30 августа 2022 г., Магнитогорск;
- СХХV-ой Международной научно-практической конференции «ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ В СОВРЕМЕННОЙ НАУКЕ», № 17 (125) 13 сентября 2022 г., Москва;
- Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОСТЬ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КАК ФАКТОР ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ» 06 сентября 2022 г., Воронеж;
- LXIV-ой Международной научно-практической конференции «ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ», № 9 (59) сентябрь 2022, Москва;
- СХХХI-ой Международной научно-практической конференции, Изд. Интернаука, № 23 (131) декабрь 2022 г., Москва;
- LXVII-ой Международной научно-практической конференции, Изд. Интернаука, 23 декабря 2022 г., Москва;
- Научно-практическая конференция, АГУ, 2023г, Сухум, Республика Абхазия.

Публикации результатов исследований. Основные положения диссертационной работы представлены в 67 научных работах, в том числе 15 в изданиях, рекомендованных Президиумом АНА, 2 патентах на изобретение и 1 монографии. Объем публикаций 32,17 п. л., из которых доля авторского вклада – 12,42 п. л.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 7 глав, основных результатов и выводов, списка литературы, включающего 239 источников, из них 12 на иностранном языке, и приложений. Основная часть диссертации содержит 280 страниц машинописного текста, в том числе – 67 рисунков и 18 таблиц.

Личный вклад соискателя в решение проблемы. Состоит в непосредственном участии:

- 1) в разработке и исследовании обобщённой эффективно-приемлемой классификации СВИЭ в условиях Абхазии;
- 2) в определении экономических аспектов использования

самовосстанавливаемых энергоресурсов для производства ЭЭ и ТЭ в Абхазии;

3) в выборе методологических основ определения и расчета узлов микроГЭС;

4) в разработке автономной системы подзарядки конденсатора для собственных нужд микроГЭС;

5) в совершенствовании схемы замещения САГ;

6) в выработке методико-технологического пояснения для совокупного системного оборудования для регулирования напряжения на САГ;

7) в определении технико-экономического обоснования эффективной работы микроГЭС;

8) в обосновании оптимизационно-технической перспективности разработки, реконструкции и внедрения миниГЭС и МГЭС в Абхазии;

9) в определении удельной полезной солнечной энергии для различных территорий Абхазии;

10) в исследовании характеристически-обоснованных свойств работающих в реальных условиях ФЭМ;

11) в проведении математически-имитационного моделирования ФЭМ в компьютерной программе Matlab/Simulink;

12) в обосновании высокой технико-экономической эффективности автономной фотоэлектрической станции собранной из ФЭМ, по сравнению с другими обычными и СВИЭ в условиях Абхазии;

13) в разработке методологически отобранной оценочной выборки геотермальных водосодержащих ресурсов в Абхазии;

14) в получении решений по схемно-структурному геотермальному теплоснабжению;

15) в определении технико-экономического обоснования целесообразности использования геотермальной водосодержащей жидкости при выработке ТЭ и ЭЭ на геотермальных тепловых и электрических станциях;

16) в исследовании принципиально-структурных характеристик работы Теп-НУ;

17) в определении оценочно-экономической составляющей эффективности парокомпрессионных ТепНу;

18) в исследовании географо-экологических особенностей при использовании автономных ветроэлектростанций в Абхазии;

19) в получении методико-расчетных принципов определения ветроэнергетических характеристик для скоростных режимов ветровых потоков;

20) в определении себестоимости выработки ЭЭ и срока окупаемости ВЭС в условиях Абхазии;

21) в выявлении областей применения водородной энергетики в Абхазии;

22) в исследовании одного из способов получения водорода в условиях

Абхазии с использованием энергии Солнца;

23) в определении технико-экономических характеристик получения водорода при реакции электролиза воды.

24)

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы работы, проанализирована изученность проблемы, сформулированы цели, задачи, научная новизна, методология, практическая ценность и реализация результатов исследований, приведены сведения о структуре и объеме диссертации и кратком содержании ее глав.

В первой главе представлен классификационный обзор СВИЭ в условиях Абхазии, рассмотрены общемировые тенденции стратегического развития СВИЭ. Показаны территориальные условия и специфические особенности энергетических ресурсов Абхазии, их взаимосвязь с энергетикой, экономикой и экологией. Приведены экономические аспекты использования СВИЭ для производства ЭЭ и ТЭ в условиях Абхазии. Определены существенные потенциальные возможности по использованию СВИЭ при решении энергетических и социально-экономических проблем в недалеком будущем. При этом всем, очень остро ощущается нехватка научно-исследовательского обоснования и структурно-систематизированного методологического анализа потенциалов, а также теоретических рекомендаций по реализации разработок, развитию и применению передовых электротепловых технологических устройств на основе СВИЭ в условиях Абхазии, что в свою очередь делает разработку данной проблемы весьма актуальной.

Во второй главе представлены научно-теоретические и экспериментальные исследования микро, мини и малых ГЭС, ещё называемыми, в условиях Абхазии, гидроэлектростанциями небольшой мощности (ГЭНМ). Научно - аналитически обоснованы и базово-структурированы основы использования гидроэнергетических потенциалов.

В горных районах Абхазии, удаленных от обычных централизованных электрических сетей, чаще всего рассматривается вариант энергоснабжения с использованием ГЭНМ.

На микроГЭС используют в той или иной степени практически все типы гидротурбин: осевые, поворотно-лопастные, пропеллерные, радиально-осевые, ковшовые, свободнотруйные и многие другие.

Более простым в конструктивном отношении, дешевым и надежным низконапорным гидродвигателем является свободнотруйное водяное колесо (СВК). Принцип ее действия аналогичен ковшовым турбинам, используемым в малых ГЭС (МГЭС). Активные СВК способны весьма эффективно работать при низких напорах – от 0,8 м до 10 м и расходах воды – от 0,01 до 1 м³/с. Необходимую мощность СВК можно выбирать, меняя его геометрические размеры – ширину и диаметр.

По сравнению с поворотно-лопастными или радиально-осевыми строительство микроГЭС со свободнотруйными водяными колесами почти на 90 % дешевле.

Наибольшее распространение в микроГЭС переменного тока получили синхронные и асинхронные электрические машины (ЭМ).

Интересны синхронные генераторы (СГ) с бесконтактной системой возбуждения и СГ с возбуждением от постоянных магнитов. Недостатками СГ с бесконтактной системой возбуждения являются сложность конструкции, повышенная инерционность за счет контура регулирования инерционного звена-возбудителя. Устранение этих недостатков усложняет систему регулирования и конструкцию генераторов, что увеличивает стоимость микроГЭС.

Другим возможным вариантом бесконтактного генератора для децентрализованных потребителей электроэнергии может быть САГ с короткозамкнутым ротором.

В микроГЭС одним из основных агрегатов является СВК.

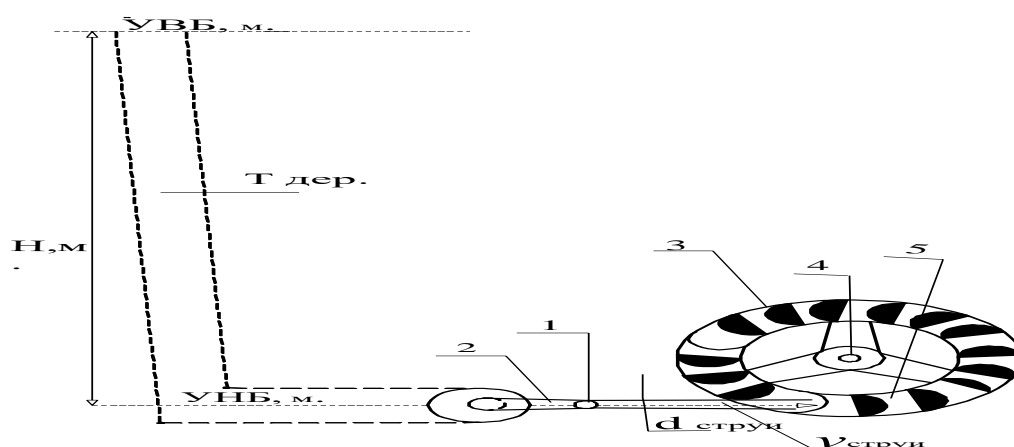


Рисунок 1. Схема деривации микроГЭС со СВК

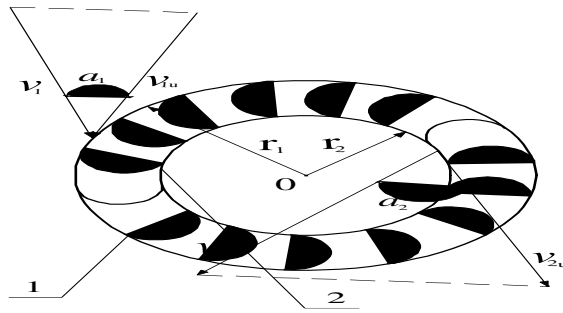


Рисунок 2. Скорости на входной и выходной кромках лопастей СВК

Для определения скорости струи v_c , можно использовать следующую формулу:

$$v_c = \varphi \sqrt{2gH} \quad , \quad (1)$$

где $\varphi = 0,98 \div 0,99$ – скоростной коэффициент, H – это напор воды, м.

Если принять, что масса воды протекает через рабочее колесо за время dt , то:

$$m = \rho \cdot Q \cdot dt \quad , \quad (2)$$

где ρ – плотность воды, Q – расход воды.

В этих условиях закон момента количественного движения, примет следующий вид :

$$\rho Q (v_{2u} r_2 - v_{1u} r_1) = \sum M_o \quad , \quad (3)$$

где v_{2u} и v_{1u} – окружные компоненты скорости струи воды, входящие и выходящие из лопастей СВК; 1 и 2 – внешний и внутренний обода СВК. v_1 и v_2 – направление векторов скоростей струи воды.

Мощность СВК можно определить, зная его момент и угловую скорость

$$N_{свк} = M\omega \quad , \quad \text{где } N_{свк} = N_{к} \quad (4)$$

При этом известно, что $N_e = \rho g Q H \eta_a$.

При ремонтных работах или аварийных режимах на микро ГЭС теряется оперативное питание, в частности, заряд на предварительно заряженных

конденсаторах, предназначенных для воздействия на электромагнит дефлектора. При не отключённом САГ в случае короткого замыкания в одной из фаз и поступлении воды на СВК вал генератора будет продолжать вращение, а это может привести к выходу из строя оборудования.

Разработано устройство, которое представлено на рисунке 3, состоящее из солнечной батареи, преобразователя постоянного напряжения в переменное и далее в постоянное напряжение на блоке предварительно заряженных конденсаторов, достаточное для управления электромагнитом отключающего дефлектора.

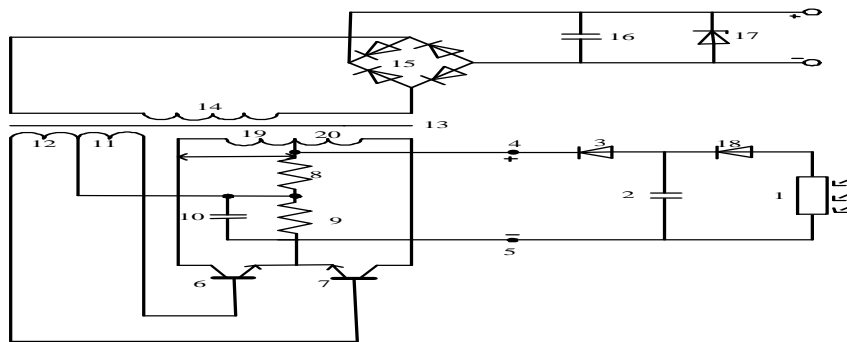


Рисунок 3. Устройство подзарядки конденсаторной батареи для микро ГЭС

При разработке математической модели САГ определённую трудность представляет учёт нелинейности и неоднозначности кривой намагничивания машины. Однако переход к вращающимся потокоцеплениям позволяет дать некоторые рекомендации по учёту этих обстоятельств. Из рисунка 4 видно, что схема замещения САГ аналогична схеме замещения трансформатора тока для мгновенных значений тока, в которой учитывается нелинейность кривой намагничивания.

С учётом сказанного дифференциальные уравнения САГ имеют вид:

$$U_1 = L_{\sigma 1} \frac{di_1}{dt} + r_1 i_1 + \frac{d\psi_0}{dt}, \quad (5)$$

$$U_1 = -\frac{1}{C} \int_0^t i_1 dt, \quad (6)$$

$$E_{\delta i \delta} = r_2' i_2' + L_{\sigma 2}' \frac{di_2'}{dt} + \frac{d\psi_0}{dt}, \quad (7)$$

$$\psi_1 = \psi_0 + L_{\sigma 1} i_1, \quad (8)$$

$$\psi_2 = \psi_0 + L_{\sigma 2}' i_2', \quad (9)$$

$$\psi_0 = f(i_0), \quad (10)$$

$$i_1 + i_2' = i_0. \quad (11)$$

где i_0 – ток намагничивания машины; Ψ_0 – основное потокосцепление машины; Ψ_1 – полное потокосцепление статора; Ψ_2 – полное потокосцепление ротора; $E_{\text{рот}}$ – ЭДС вращения ротора; C – ёмкость конденсаторной батареи; $d\Psi_0/dt$ – падение напряжения на ветви намагничивания.

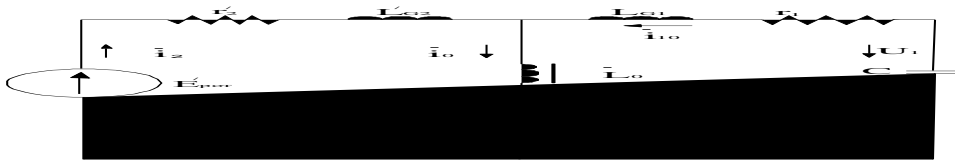


Рисунок 4. Эквивалентная схема замещения САГ по мгновенной величине тока

Стремление упростить задачу при исследовании САГ на компьютерной технике привело к использованию схемы замещения САГ с учётом скольжения. Т-образной схеме замещения САГ в установившемся режиме соответствует система уравнений:

$$\dot{I}_\mu = \dot{I}_1 - \dot{I}_2', \quad (12)$$

$$-\dot{E}_1 = +\dot{I}_1(r_1 + jx_1) = \dot{U}_1, \quad (13)$$

$$\dot{E}_2' - \dot{I}_2'(jx_2' + \frac{r_2'}{s}) = 0 \quad (14)$$

В случае гармонических величин ток ротора будет:

$$I_p = \frac{U_{mg}}{(r_2' \cdot \frac{1}{s} + jx_2')}. \quad (15)$$

Получилась следующая схема замещения, с учетом скольжения на рисунке 5 с коэффициентом K :

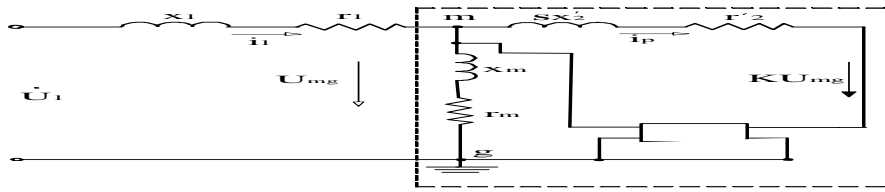


Рисунок 5. Схема замещения с коэффициентом K

Данная схема замещения обеспечивает создание того же тока в роторе I_p , что и по выражению при $K=(1-s)$.

Для внешнего контура, указанного пунктирной линией, имеем:

$$-U_{mg} + I_p jx'_2 s + I'_p r'_2 + KU_{mg} = 0, \quad (16)$$

или:

$$-U_{mg} + I_p jx'_2 s + I'_p r'_2 + U_{mg} - sU_{mg} = 0, \quad (17)$$

преобразуя, получим:

$$I'_p \cdot (r'_2 + jx'_2 s) = sU_{mg}, \quad (18)$$

откуда:

$$I'_p = \frac{U_{mg}}{\frac{r'_2}{s} + jx'_2}, \quad (19)$$

Данная математическая модель впервые создана на базе компьютерной программы Electronic Work Bench(EWB).

На рисунке 6 показана компьютерная модель САГ с учетом нелинейной характеристики кривой намагничивания.

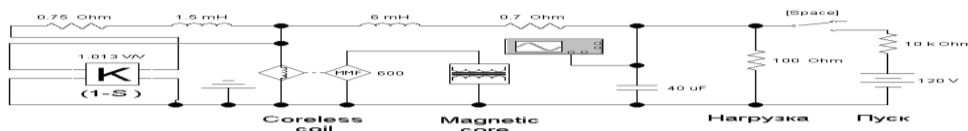


Рисунок 6. Компьютерная модель САГ в компьютерной программе Electronic Work Bench (EWB)

На схеме приведены численные значения элементов, а кривая намагничивания показана в таблице 1.

Табл.1

Кривая намагничивания САГ

№	1	2	3	4	5	6	7	8
H , (А/м)	-	-	-	-	-	-	-	0
B , (Тл)	-1,4	-1,38	-1,35	-1,3	-1,2	-1	-0,8	0

Продолжение табл. 1

№	9	10	11	12	13	14	15
H , (А/м)	200	400	600	800	1000	1200	1400
B , (Тл)	0,8	1	1,2	1,3	1,35	1,38	1,4

На рисунке 7 показан процесс нарастания колебаний напряжения статора при постоянном скольжении.

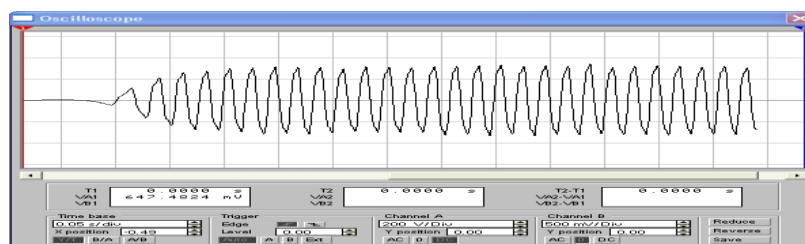


Рисунок 7. Осциллограмма процесса установления напряжения статора САГ

Необходимость применения средств регулирования напряжения, таких как совокупное системное оборудование для регулирования напряжения (ССОДРН), на зажимах САГ при изменении нагрузки в целях более полного использования габаритов машины является очень важной задачей.

Схема разработанного регулятора приведена на рисунке 8.

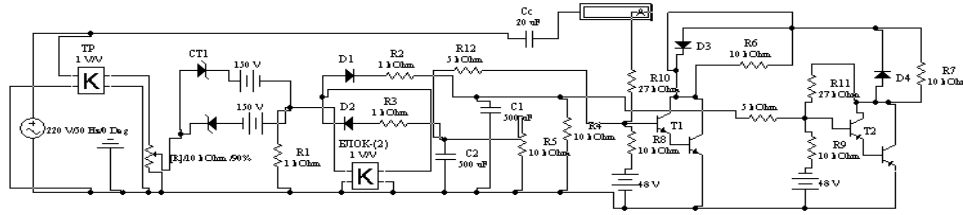


Рисунок 8. Схема электронного регулятора емкостного тока ССОДРН для САГ

Схема набрана на компьютере в программе EWB по тем же обоснованиям, что и в случае применения ее для анализа самого САГ.

Аналитическое исследование системы: САГ, электронного регулятора, частотомера и двигательной нагрузки представляет собой сложную задачу. Эту задачу можно решить математическим моделированием с использованием компьютерной программы EWB, представленной на рисунке 9.

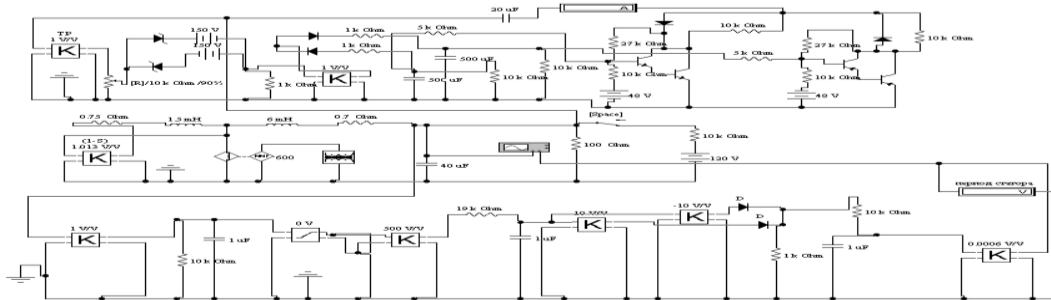


Рисунок 9. Компьютерная схема системы: САГ, частотомер, регулятор и нагрузки

Получение экспериментально-исследовательских характеристических параметров автономного САГ на базе асинхронного двигателя при режимах его возбуждения и развозбуждения было проведено на лабораторном стенде. Её принципиальная электрическая схема изображена на рисунке 10.

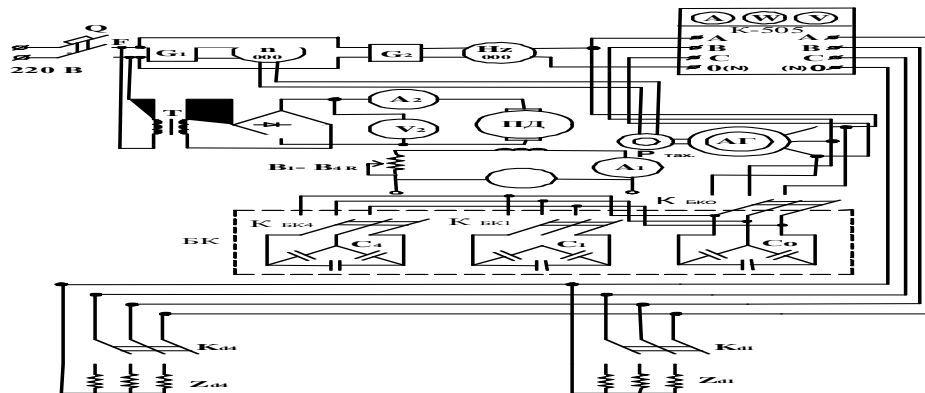


Рисунок 10. Принципиальная электрическая схема лабораторной установки для исследования режимов работы автономного САГ

На рисунке 11 представлена конструктивная схема микро ГЭС, на которой (1) – САГ, (2) – редуктор, (3) – вал, соединяющий САГ и редуктор, (4) – карданный вал, (5) – малая звездочка, жестко насаженная на карданный вал, (6) – цепная передача от большой звездочки к малой звездочке, (7) – большая звездочка, (8) – удлиненный вал, на котором находится большая звездочка и СВК, (9) – подшипники, закрепленные на удлиненном валу (8), (10) – СВК.

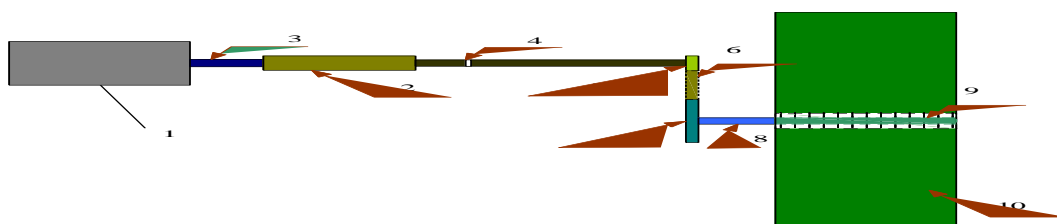


Рисунок 11. Конструктивная схема микро ГЭС

В качестве САГ на микро ГЭС использован трехфазный асинхронный двигатель мощностью 5 кВт, напряжением 220 В и частотой 50 Гц.

На рисунке 12 изображен внешний вид СВК в слесарно-сборочной мастерской до установки.



Рисунок 12. Внешний вид натурно-опытного (Н-О) образца до установки



Рисунок 13. Начало испытаний установки СВК



Рисунок 14. Оценка водного потенциала



Рисунок 15. Сочленение СВК с валом

Результаты сравнения экономической эффективности приведены в таблице 2.

Табл.2

Расчет экономической эффективности микроГЭС

№	Статьи издержек	1-вариант микро- ГЭС (руб.)	2-вариант энергосистема (руб.)
1	Опоры с монтажом	55 000	330 000
2	Изоляция	5 000	33 000
3	Трансформаторные подстанции	-	300 000
4	Провода	4 500	30 000
5	Транспортно-технические расходы	3 000	90 000
6	Оплата работ	3 000	140 000
7	Итого	70 500	923 000

Не вызывает больших споров, что экономическая составляющая Абхазии во многом опирается на характеристические особенности энергетической структуры. В этом контексте нужно отметить, что стимулирующим фактором для всей системы электрификации Абхазии может и должна стать разработка, реконструкция и внедрение миниГЭС и МГЭС, которые назовем частью ГЭНМ или (ЧГЭНМ).

Также имеет смысл рассмотреть некоторые достоинства ЧГЭНМ для условий Абхазии. Им присущи все плюсы, свойственные крупным гидроэлектростанциям. Они предоставляют возможность получать энергию автономным, находящимся в труднодоступных и горных местах, не имеющим централизованного электроснабжения потребителям. При этом ЧГЭНМ не имеют некоторых недостатков, характерных для больших гидроэлектростанций. Это, например, значительное сокращение отрицательного воздействия на природу.

Далее рассмотрим для примера реальное состояние одной из ЧГЭНМ Абхазии, показанной на рисунках 16,17,18. Был проведен осмотр Баслат-ЧГЭНМ мощностью 0,4 МВт, которая находится на реке Баслат в границах города Сухум. Она была построена в 1910 г., реконструирована в 1950 г, с тех пор не было проведено ни одного ремонта, модернизации или реконструкции. При этом она не действует уже значительное время.

В этом случае ввиду того, что никакого пригодного оборудования ЧГЭНМ уже нет, можно говорить только о полном ее восстановлении. При этом целесообразно сразу проводить полную реконструкцию бывшего проектно-расчётного оборудования этой ЧГЭНМ в сторону увеличения ее общей установленной мощности. Для этого необходимо проведение ряда мероприятий, к которым можно отнести следующие:

- 1.Проведение перепроектирования еще сохранившейся в некотором виде деривационной системы, с максимально возможным при этом увеличением общего расхода воды и с добавлением подводящих каналов (ПК).
- 2.Проработка и выбор оптимального количества гидроагрегатов с учетом дополнительного количества ПК.
- 3.Приобретение современного оборудования для ЧГЭНМ.

При выполнении этих мероприятий вполне можно добиться увеличения мощности Баслат-ЧГЭНМ после полной реконструкции до 1 МВт.



Рисунок 16. Баслат-ЧГЭНМ



Рисунок 17. Шлюзовой затвор на Баслат-ЧГЭНМ



Рисунок 18. Отводной канал Баслат-ЧГЭНМ

Напрашивается вывод о том, что реконструкция и внедрение ЧГЭНМ может стать одним из направлений повышения эффективности энергосистемы Абхазии, так как подобных ЧГЭНМ около 10. При введении в перспективе их всех в работу структурность системы электроснабжения Абхазии может значительно улучшиться. То есть вполне может сойти на нет кризис пиковых нагрузок, особенно в отопительный период.

Для проведения внедрений и исследований в области ГЭНМ нам предоставили всю техническую и материальную площадку действующей Сухум ГЭС. Начатые исследования носят системно – оптимизационный характер и относятся практически ко всем аспектам работы гидроэлектростанции. Любую ГЭС начинают рассматривать с ее речного стока определяя его, как вероятностный процесс. Он является результатом выпадения над водосборным бассейном всевозможных осадков, их испарений и выхода подземных вод в русло реки.

Предсказание речного стока в настоящее время возможно лишь на два-три месяца. Для водохранилищ с многолетним регулированием это создало необходимость математического описания речного стока, как случайно-стохастического процесса. На практике исходную гидрометрическую информацию можно находить путем непосредственного применения календарного ряда, с последующей статистической обработкой их результатов, либо предварительной статистической обработкой стоковых данных с созданием математической модели процесса речного стока и дальнейшем проведении водноэнергетических расчетов. На рисунке 19 показаны каналы сброса воды на Сухум ГЭС.



Рисунок 19. Сброс воды с работающих силовых агрегатов Сухум ГЭС

На рисунке 20 представлен общий вид речного стока возле электрической станции Сухум ГЭС.



Рисунок 20. Речной сток возле СухумГЭС

Так как речной сток относится к непрерывным процессам, то для достаточно точного математического описания стока нами совместно с инженерами СухумГЭС начато проведение регулярных визуальных и метеорологических наблюдений за расходами воды в реке. Для этих целей используется специальное метеорологическое оборудование находящиеся на самой высокой точке СухумГЭС. Кроме того, хотелось бы заметить, что точные статистические данные, мы получим за 2024 год с использованием специального оборудования, которое не уступает по своему функционалу, давно используемому «Мераприбору» с регистрационно-передающей системой МП-РПС-01. Полученные данные планируются нами использовать в двухпараметрическом гамма-распределении, называемом кривой Пирсона III типа, и имеющей следующий вид:

$$F(Q, \gamma, 1) = \frac{\gamma^\gamma}{\Gamma(\gamma)Q} \int_0^Q e^{-\frac{\tau t}{Q}} \left(\frac{t}{Q}\right)^{\gamma-1} dt$$

Где Q- расход воды в реке; γ – коэффициент вариативности; t – шаг рабочего дневного временного периода; τ – коэффициент временной экспоненциальности.

Расчеты регулирования стока водохранилищем Сухум ГЭС при работе являются расчетами оптимальных режимов ГЭС. То есть проводимые нами исследования речного стока являются весьма актуальной оптимизацией и однозначно выбранный путь данных исследований целесообразен.

Еще одним направлением нашей оптимизационно-исследовательской работы в техно-методическом парке Сухум ГЭС являются: гидротурбины, электромашинные генераторы, система стабилизации выходного напряжения, гидротехнические сооружения, запорная арматура и свободно-добавочная нагрузка.

На Сухум ГЭС имеется микро ГЭС, всей своей мощностью. введенное в общее электроэнергетическое пространство гидроэлектростанции, но одним из основных смыслов ее использования является исследование и нахождение новых решений в части асинхронных и синхронных генераторов небольшой мощности. В этом направлении мы уже достаточно плотно начали наше взаимодействие с инженерами Сухум ГЭС, имея на перспективном исследовании достаточно широкий спектр задач, решение которых в результате позволит значительно оптимизировать применение этих электрических машин на различных электростанциях. На рисунке 21 показан асинхронный двигатель работающий в режиме генератора.



Рисунок 21. Асинхронный двигатель в режиме генератора, с системой стабилизации напряжения и элементом альтернативной дополнительно-свободной энергией (АД-СЭ), мощностью 104 кВт на Сухум ГЭС

Ещё одним нашим направлением исследования и объективно-востребованного структурно-перспективного внедрения в техно-методическом парке СухумГЭС является наша работа над улучшением пусковых, эксплуатационных параметров асинхронных генераторов(АГ) с неодимовыми постоянными магнитами. Данное исследование дало положительные результаты и плане увеличения общей мощности АГ. Особенно данный АГ с неодимовыми магнитами интересен для удаленных потребителей электрической энергии. Наши экспериментально-теоретические исследования на действующей модели АГ с элементом альтернативной дополнительно-свободной энергией (АД-СЭ) в СухумГЭС определили не только массу положительных моментов в его работе, но и создали предпосылки для дальнейшей оптимизации его эксплуатационных

характеристик. На рисунке 22 представлен Ротор АГ с неодимовыми магнитами.



Рисунок 22. Ротор АГ с неодимовыми магнитами имеющий улучшенные характеристики по мощности

Мощность АГ с неодимовыми магнитами получается пока на 10% процентов больше установленной мощности стандартного образца генератора. Однако есть перспективы, которые мы видим и уже работаем над ними. К примеру, добавляя в электрическую схему АГ с неодимовыми магнитами и резонансно – индуктивные, последовательно соединенные элементы, выходит дополнительная прибавка по АД-СЭ, еще около 10 %. Этот опыт проведен нами на лабораторной установке небольшой мощности. Результаты оказались весьма впечатляющими. И создают высокий мотивационный эффект, так как открывают весьма интересные перспективы при масштабировании этой лабораторной установки до значительных мощностей.

Таким образом, напрашивается вывод о том, что целесообразность и перспективность нашей совместной работы с сотрудниками и инженерами СухумГЭС весьма плодотворна и востребована. На сегодняшний момент, исследования и внедрения, проводимые нами в техно-методическом парке СухумГЭС, однозначно являются объективно-востребованными.

В третьей главе представлены экспериментально-теоретические исследования солнечно-энергетических преобразователей в условиях Абхазии. Определены показатели полезной солнечной энергии для различных территорий, проведены расчеты обобщающей вариативности от использования преобразователей солнечно-лучистой радиации (С-ЛР).

Поступление С-ЛР на поверхность Земли во многом зависит также от высоты солнца, которая меняется в зависимости от времени года и от широты территории.

Для определения максимальной высоты Солнца (в день летнего солнцестояния) использовали такую формулу:

$$H_{max} = 90^{\circ} - \varphi + 23,5^{\circ} , \quad (21)$$

где H_{max} – величина, соответствующая максимальной высоте Солнца;
 φ – величина широты места.

Для минимальной высоты Солнца (в день зимнего солнцестояния) использовали такую формулу:

$$H_{min} = 90^\circ - \varphi - 23,5^\circ, \quad (22)$$

где H_{min} – величина, соответствующая минимальной высоте Солнца.

На рисунке 23 показана С-ЛР по административным районам Республики Абхазия



Рисунок 23. Численные значения С-ЛР по административным территориям Республики Абхазия

Используя статистические усредненные данные, получаем коэффициент – ρ_A пропускной способности облаков, при помощи многолетних метеонаблюдений в Абхазии получаем таблицу 3.

Табл.3

Результаты усредненных значений пропускной способности облаков

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ρ_A	0,76	0,82	0,81	0,86	0,83	0,85	0,85	0,85	0,85	0,87	0,86	0,80

Наличие в атмосфере Земли водных паров снижает мощность потока С-

ЛР на территории Абхазии до значений, близких к $1\ 200\ \text{Вт}/\text{м}^2$.

Табл.4

Обобщённо-усредненные расчетные данные по С-ЛР в Абхазии

Страна	Февраль		Июль		Год		Широта °
	МДж/м ²	кВтч/м ²	МДж/м ²	кВтч/м ²	ГДж/м ²	кВтч/м ²	
Республика Абхазия	124,9	34,7	823,5	247,8	5,51	1423,1	43

Фотоэнергетические устройства (ФЭНУ) состоят из солнечных панелей, закрепленных на специализированных металлических сборных конструкциях. У них есть два режима работы, к первому из которых можно отнести стационарный режим, а вторым является режим слежения за Солнцем с применением трекера (см. рисунок 24).



Рисунок 24. Режим слежения за Солнцем с применением трекера

Концентраторы С-ЛР используются для ФЭНУ с тепло-циклическими структурами преобразования, в которых применяются в качестве энергопреобразователей паротурбины. У системно-ориентированных концентрирующих устройств (С-ОКУ) важнейшим вопросом является повышение объемно-структурной плотности С-ЛР на приемнике с целью увеличения теплового коэффициента полезного действия (ТКПД)

При создании таких ФЭНУ применяется три типажных С-ОКУ:

- 1) структурно-башенные концентраторы (см. рисунок 25);
- 2) ФЭНУ с параболично-встроенным концентратором при наличии одноосной системы слежения (см. рисунок 25).



Рисунок 25. ФЭНУ с С-ОКУ в виде структурно-башенного концентратора

Это С-ОКУ, как правило, может состоять из нескольких тысяч зеркал,

которые концентрируют С-ЛР на приемник, при этом значения СЭ могут увеличиваться в 900 раз, при высоте башни от 10 до 170 метров, площади зеркал от 3 до 110 м². В роли теплоносителя может использоваться обычная дистиллированная вода, которая в структурно-башенном концентраторе нагревается до 570° Цельсия.

ФЭнУ с параболоцилиндрическими концентраторами и одноосными системами слежения, преобразовывающие С-ЛР в ЭЭ, показаны на рисунке 26.



Рисунок 26. ФЭнУ с параболоидно-встроенным концентратором при наличии одноосной системы слежения

Параболоидно-встроенный концентратор с одноосной системой слежения – это ФЭнУ, в котором зеркала параболической формы переориентируются вслед за движением Солнца и при этом создают фокусировку волн С-ЛР на теплообменном устройстве. Такое С-ОКУ вполне может увеличить значения СЭ в 120 раз и поднять температуру теплопереносящей специальной масленичной субстанции до 420°С . Эта масленичная субстанция через теплопередающее устройство отдает свою тепловую энергию водяному пару, который в свою очередь приводит во вращение паровую турбину на электростанции.

На современном технико-технологическом уровне развития уже имеются ФЭнУ с тепловыми аккумуляторами (ТА) в виде больших сферических сосудов с расплавленной солью, способных находиться в режиме ожидания до 10 часов.

В двухконтурных ФЭнУ используются вакуумные концентраторы (КС-ЛР) для почти круглогодичного нагрева воды и отопления автономных частных домовладений. На рисунке 27 показан типаж ФЭнУ с вакуумным КС-ЛР, который предназначен для производства и аккумуляции ТЭ.



Рисунок 27. Типаж ФЭнУ с вакуумным КС-ЛР

Весьма интересными вполне можно назвать гибридные ФЭнУ, которые обладают способностью производить ТЭ и ЭЭ одновременно. Такие ФЭнУ представляют из себя симбиоз фотоэлектрической панели и КС-ЛР, их

принято называть PVT-панелями.

Гибридный ФЭНУ, созданный по новейшим технико-технологическим структурированным проектам, показан на рисунке 28.

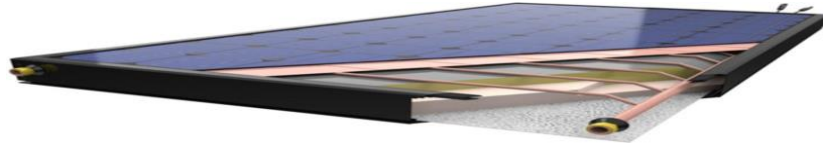


Рисунок 28. Гибридный ФЭНУ, созданный по новейшим технико-технологическим структурированным проектам

Рассмотренный выше гибридный ФЭНУ представлен на рисунке 29.



Рисунок 29. Гибридный ФЭНУ, созданный на базе КС-ЛР и ФЭМ

Обобщенно-расчетная модель таких гибридных концентрирующих ФЭНУ базируется на алгоритме решений, полученных в результате скрупулёзных исследований в области КС-ЛР без прозрачной изоляции.

Эта модель является универсальной и вполне подходит и для концентрирующих, и для плоских ФЭНУ. По своей сути эта универсальная расчетная модель является обобщённой моделью Хоттель – Уилера, которая учитывает и вырабатываемую ЭЭ на ФЭМ. Эта модель показана в уравнении (23) для расчета тепловой мощности для нестационарного режима работы:

$$C_{eff} \frac{dT_m}{dt} = G_{red} \Sigma \cdot \eta_o \cdot (1 - b_u \cdot u) + (b_1 + b_2 \cdot u) \cdot (T_m - T_{umg}) + q_{kond} - q_{nutz} \quad (23)$$

где C_{eff} – абсолютно эффективная теплоемкость (кДж/(кг К));

T_m – усредненная температурная характеристика КС-ЛР, (°С);

G_{red} – С-ЛР, приходящая на приемник (Вт/м²);

В типажной теоретически созданной ФЭМ при высоких параметрах концентрации С-ЛР в модели линейно-направленного фототока вольтамперная характеристика определялась по следующему выражению:

$$U = \frac{A_{кр} k_B T}{q} \ln \left(\frac{I_\phi - I}{I_0} + 1 \right) - IR, \quad (24)$$

где I_ϕ – величина, определяющая силу фототока (А) для линейно-приближенной концентрации С-ЛР при попадании ее спектральных волн на ФЭМ; R – величина сопротивления ФЭМ (ОМ·см).

Рассматриваемый метод на базе феноменологически разработанной теории предельно допустимых фотоэнергетических и температурных режимов применялся для определения параметров вольтамперных характеристик, работающих в реальных условиях ФЭМ в полном соответствии с его эквивалентной схемой замещения, показанной на рисунке 30.

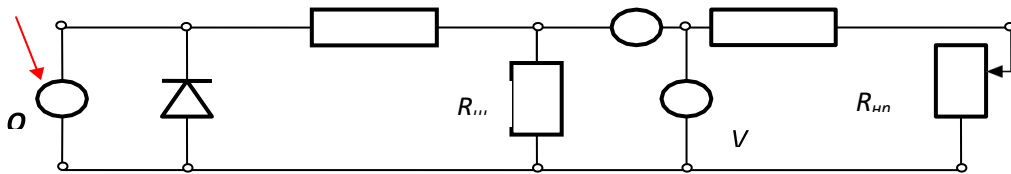


Рисунок 30. Эквивалентная схема замещения ФЭМ для определения параметров вольтамперных характеристик работающих в реальных условиях

Составными частями схемы являются: Q – генератор фотоэлектрического тока; A – прибор для измерения силы тока (амперметр); V – прибор для измерения напряжения (вольтметр).

Значения тока и напряжения в зависимости от линейно-приближенной концентрации С-ЛР и прогрева ФЭМ, определялись в соответствии со структурно созданной системой уравнений, представленных следующими формулами:

$$U_{пр} = \frac{[U_{ххпр} + \Delta U_T K_n](R_{нп} + R_{пр})}{(R_{нп} + R_{пр}) + R_{пс} + R_б} \quad (25)$$

$$I_{п} = [I_{кэи} - (I_{ш} \left(\frac{n}{N_n}\right)) \left(1 + \frac{n}{N_n}\right)] (1 - K_n) \quad (26)$$

где $K_n = \left(\frac{n}{N_n}\right)^{\alpha^*}$, $\alpha^* = \left(1 + \frac{n}{N_n}\right) \left[\frac{E_g}{U_{ххпр}}\right]$,

$$\Delta U_T = U_{ххпр}(T) - U_{ххпр}(T_0), \quad I_{кэп} = \eta_{опт} K I_{кэпр},$$

$$I_{\text{ш}} = \frac{U_{\text{ххпр}}K}{(R_{\text{ш}} + \Sigma R)}, \quad \Sigma R = R_{\text{пс}} + R_{\text{б}}$$

где $\eta_{\text{опт}}$ – оптически-выверенный КПД, K – обуславливает концентрацию, $I_{\text{кэпр}}$ – обозначает предельно-возможный ток при коротком замыкании, выражается в (А), при значениях концентрации ($K = 1$); $I_{\text{ш}}$ – величина шунтирующего тока (А); n – имеет пределы изменения от 1 до 7; $R_{\text{ш}}$ – величина шунтирующего сопротивления (Ом); $R_{\text{нп}}$ – значения внешнего сопротивления, измеряемого в (Ом); $R_{\text{пр}}$ – величина сопротивления соединительных проводов в (Ом); ΣR – суммарное значение внутренних сопротивлений в (Ом); $R_{\text{пс}}$ – величина сопротивления переднего слоя в (Ом); $R_{\text{б}}$ – величина, соответствующая сопротивлению базы в (Ом).

Самый оптимизированный угол наклона (β) для Абхазии определен, и он находится в диапазоне от $\beta = 35^\circ$ до $\beta = 45^\circ$. На рисунке 31 показан угол наклона (β) ФЭМ по отношению к горизонтальной земной поверхности.

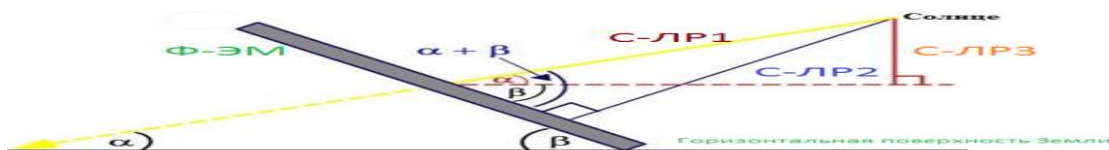


Рисунок 31. Угол наклона (β) ФЭМ по отношению к горизонтальной земной поверхности, С-ЛР – волны солнечной лучистой радиации

Предполагается, что монтаж ФЭМ в Абхазии целесообразно делать на крышах домов, угол наклона у которых обычно находится в диапазоне от $\beta = 35^\circ$ до $\beta = 45^\circ$, что даст общий приход солнечной энергии

$$\mathcal{E}_{\text{год } \beta} = 1950 \text{ кВт ч/м}^2 \quad (27)$$

В таблице 5 представлены рабочие характеристики ФЭМ с различными базово-составляющими элементами.

Табл.5

Рабочие характеристики различных типовых ФЭМ

Типаж ФЭМ	$I_{\text{кз}}$ (мА /см ²)	$U_{\text{хх}}$ (В)	$I_{\text{опт}}$ (мА /см ²)	$U_{\text{опт}}$ (В)	P_{max} (мВт /см ²)	η %	ξ
С-Si	40,5	0,578	39,6	0,563	23,78	24	0,834

AsGa	28,1	1,025	27,234	0,931	25,784	25	0,876
Poly-Si	37,8	0,632	36,214	0,576	19,832	20	0,825
CdTe	35,4	0,673	34,087	0,578	15,485	15,5	0,815
CuInGaSe2	25,8	0,703	24,756	0,534	19,342	19,5	0,848

На рисунке 32 показана смоделированная типовая модель ФЭМ, которая предоставляла возможность проводить исследования в компьютерной программе Matlab при совместной работе сразу нескольких источников питания.

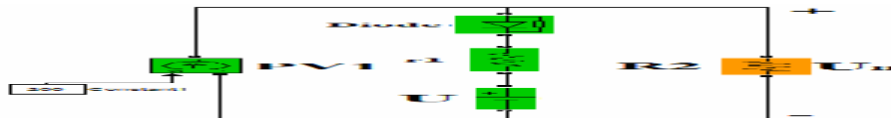


Рисунок 32. В программе Matlab показана универсально-выделенная модель ФЭМ, полностью совместимая с подразделом Sim Power Systems

Также в подпрограмме был создан блок, моделирующий в точности характеристические параметры вольтамперной характеристики реального ФЭМ, показанный на рисунке 33.



Рисунок 33 - Блок, моделирующий в точности характеристические параметры вольтамперной характеристики реального ФЭМ

Для того чтобы этот блок начал работать в программе Matlab, он был присоединен к другим управляемо-выбранным источникам, как показано на рисунке 34.

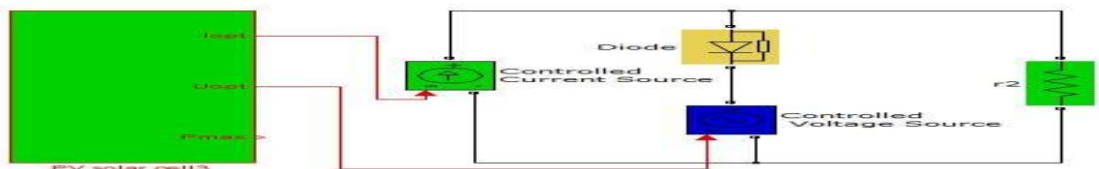


Рисунок 34. Блок, моделирующий вольтамперные характеристики в сборной схеме в разделе Sim Power System программы Matlab

Далее была создана полная схема ФЭМ с блоком, моделирующим вольтамперные характеристики в общекомпилированной структурной сборке, показанной на рисунке 35.

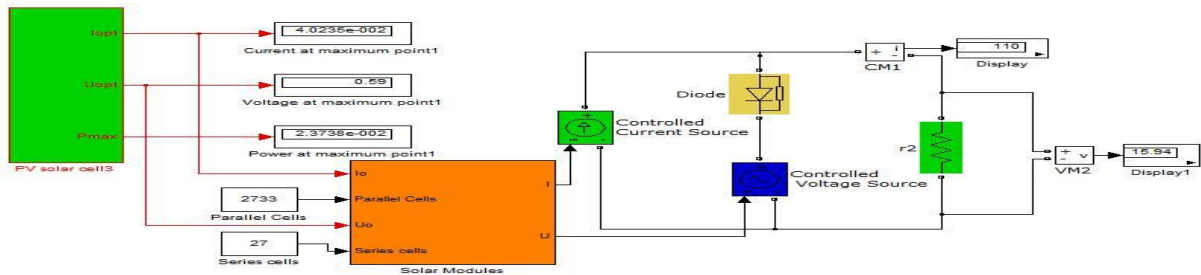


Рисунок 35. Полная схема ФЭМ с блоком, моделирующим вольтамперные характеристики в общекомпилированной структурной сборке, в разделе Sim Power System программы Matlab

Теперь произведем расчет стоимости ЭЭ, полученной от автономной фотоэлектрической станции. При предельно-максимальной мощности нагрузки равной $P_{max,наг.} = 5\text{кВт}$, значение общей потребляемой энергии за 12 часов непрерывной работы будет примерно равна $\mathcal{E}_{за 12 ч.} = 60\text{кВт} \cdot \text{ч}$.

Для определения удельно-расчетной стоимости инвертора необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$C_{и} = P_{max,наг.} \cdot \zeta_{и} = 5\text{кВт} \cdot 13500 \text{руб.}/\text{кВт} = 67\,500 \text{руб.} \quad (28)$$

где $\zeta_{и}$ – удельная стоимость инвертора, которая равна

$$\zeta_{и} = 13500 \text{руб.}/\text{кВт}$$

Усредненная цена на ФЭМ будет самым оптимально-выверенным вариантом, это показано в следующем выражении:

$$\zeta_{ф-эм} = 15000 \text{руб.}/\text{кВт}, \quad (29)$$

где $\zeta_{ф-эм}$ – усредненная удельная стоимость ФЭМ.

С целью определения удельно-расчетной стоимости ФЭМ использовалась следующая формула:

$$C_{ф-эм} = P_{max,наг.} \cdot \zeta_{ф-эм} = 5\text{кВт} \cdot 15000 \text{руб.}/\text{кВт} = 75000 \text{руб.}/\text{кВт}, \quad (30)$$

где предельно-максимальная мощность нагрузки – $P_{max,наг.} = 5\text{кВт}$.

Удельная стоимость одного гелиевого аккумулятора была взята из коммерческих прайс-листов. Она находится в ценовом диапазоне, который возможно отразить следующим значением:

$$\zeta_{\text{АБ}} = 11000 \text{ руб.} / \text{кВт} \cdot$$

С целью определения удельно-расчетной стоимости гелиевых аккумуляторов использовалась следующая формула:

$$C_{\text{АБ}} = P_{\text{max,наг.}} \cdot \zeta_{\text{АБ}} = 5 \text{ кВт} \cdot 11000 \text{ руб.} / \text{кВт} = 55000 \text{ руб.} / \text{кВт}, \quad (31)$$

где предельно-максимальная мощность нагрузки определяется по следующему выражению: $P_{\text{max,наг.}} = 5 \text{ кВт}$.

При этом полная стоимость всей автономной фотоэлектрической станции была получена, с применением такой формулы:

$$C_{\text{сум.за 10 лет}} = (C_{\text{и}} + C_{\text{ф-эм}} + C_{\text{АБ}}) \cdot k_{\text{аморт.}} = (67\,500 \text{ руб.} + 75\,000 \text{ руб.} + 55\,000 \text{ руб.}) \cdot 2 = 394\,000 \text{ руб.}, \quad (32)$$

где $k_{\text{аморт.}} = 2$ – амортизационно-расчетный коэффициент, учитывающий непрерывную работу автономной фотоэлектрической станции, с текущими ремонтно-профилактическими заменами оборудования, имеющего естественный временной износ.

При этом потребляемая энергия за 10 лет определялась по следующей формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{за 10 лет}} = 10_{\text{лет}} \cdot \text{Кол. дней в году} \cdot \mathcal{E}_{\text{за 12 ч.}} = 219\,000 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \quad (33)$$

Для определения удельной стоимости ЭЭ за 10 лет непрерывной работы автономной фотоэлектрической станции использовалась следующая формула:

$$C_{\text{ед.ЭЭ 10лет}} = \frac{C_{\text{сум.за 10 лет}}}{\mathcal{E}_{\text{за 10 лет}}} = \frac{394\,000}{219\,000} = 1,79 \text{ руб.} / \text{кВт} \cdot \text{ч} \quad (34)$$

На рисунке 36 показана в графической форме удельная стоимость ЭЭ для автономной фотоэлектрической станции, бензинового генератора и автономной ветровой электростанции.

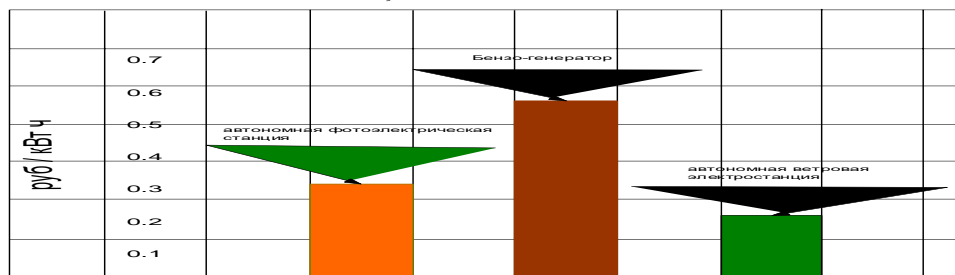


Рисунок 36. Сравнение удельных стоимостей ЭЭ для автономной фотоэлектрической станции, бензинового генератора и автономной ветровой электростанции

Таким образом, из рисунка 36 наглядно видно, что удельная стоимость автономной фотоэлектрической станции несколько больше, чем у автономной ветровой электростанции, но значительно меньше, чем у бензинового генератора. При этом резервы уменьшения стоимости автономной фотоэлектрической станции есть, и они лежат в плоскости уменьшения общеамортизационных расходов.

В главе 4 проведен анализ и расчет системной оптимизации проблем использования геотермальной энергии в условиях Абхазии.

Расчетно-аналитическими изысканиями определено, что Земную кору на территории Абхазии вполне можно считать достаточно прогретой

На рисунке 37 показана одна из самых несложных схемно-структурных систем подачи ТЭ потребителям, в которой водосодержащая жидкость из геотермальной скважины поступает в теплосохраниющую накопительную емкость и далее насосным агрегатом отправляется в системы отопления и горячего водоснабжения.

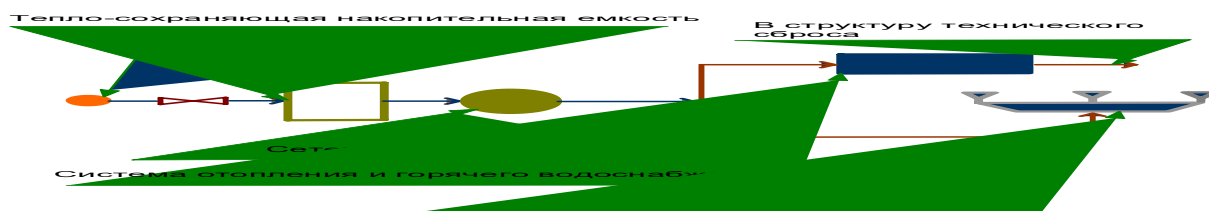


Рисунок 37. Несложная схемно-структурная система подачи потребителям геотермальной водосодержащей жидкости в системы отопления и горячего водоснабжения

В случае, если температурные характеристики геотермальной водосодержащей жидкости имеют не очень значительные параметры,

находящиеся в диапазоне от 47 до 57°C, то её имеет смысл использовать в совокупности с тепловым насосом (см. рисунок 38).

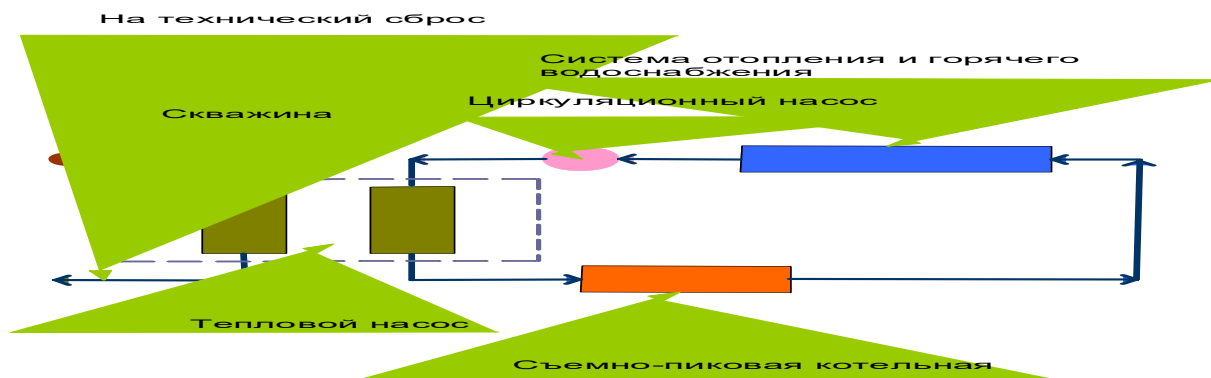


Рисунок 38. Схема системы передачи ТЭ от геотермальной водосодержащей жидкости в совокупности с тепловым насосом

Целесообразность строительства Гео-ЭС начинается при температурных характеристиках геотермальных водосодержащих жидкостей на выходе из скважины не менее 102°C.

На рисунке 39 показана схема Гео-ЭС, в которой парогидротерма в сепарирующем устройстве разделяется на влажный пар и жидкую фракцию..

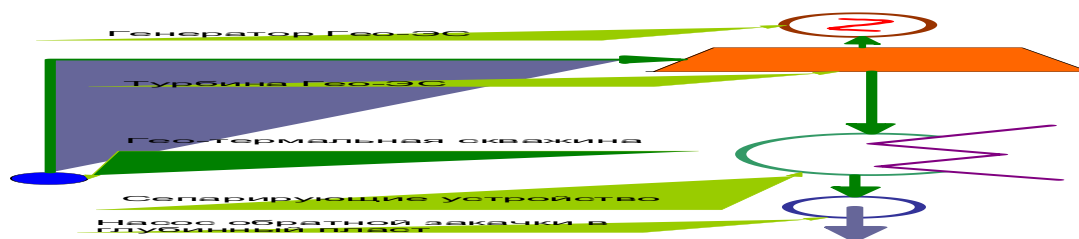


Рисунок 39. Схема Гео-ЭС, в которой парогидротерма в сепарирующем устройстве разделяется на влажный пар и жидкую фракцию

Более сложной схемой работы Гео-ЭС является бинарный цикл, при котором происходят дополнительные потери температурно-характеристического потенциала. На рисунке 40 показана схема Гео-ЭС с бинарным циклом испарения и циркуляцией теплоносителя во втором контуре Гео-ЭС.

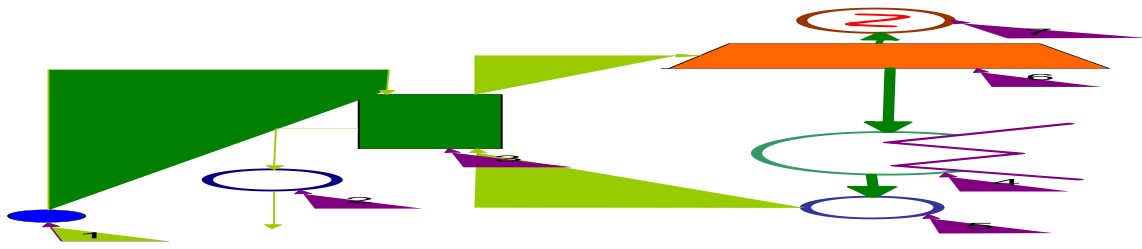


Рисунок 40. Схема Гео-ЭС с бинарным циклом испарения и циркуляцией теплоносителя во втором контуре Гео-ЭС

Бинарный цикл состоит из двух температурных контуров, в которых теплообменное устройство для прогрева, испарения и циркуляции теплоносителя передает ТЭ.

Важнейшим аспектом технико-экономического обоснования целесообразности использования геотермальной водосодержащей жидкости при выработке ТЭ и ЭЭ являются приведенные затраты. Для определения суммарных приведенных затрат при условии, что капиталовложения и ежегодные издержки остаются неизменными, применялась такая формула:

$$Z_{\tau}^{\text{пр}} = \rho(k_t + U_t)(1 + \rho)^{\tau-1} + (1 + \rho)^{\tau-T}, \quad (36)$$

где k_t – величина капитальных вложений в течении календарного года; U_t – значение годовых издержек; τ – год, к которому приводятся все суммарные затраты; T – значение, соответствующее расчетному периоду; ρ – коэффициент, учитывающий ежегодные издержки.

Приведенные затраты вычислялись по следующей формуле:

$$Z_{\tau}^{\text{пр}} = \rho(k_t + I_{\text{год}})(1 + \rho)^{\tau-1} + I_{\text{н}}, \quad (37)$$

где $I_{\text{н}}$ – величина годовых издержек при нормальных условиях эксплуатации.

Для получения расчетно-аналитически обоснованных значений приведенных затрат важно рассматривать их в зависимости от параметрических характеристик оборудования, а также от конструктивных особенностей тепловых схем. При условии того, что вложения капитала происходят одновременно, значение приведенных затрат были определены по следующей формуле:

$$Z = I_{\text{год}} + \rho k_t, \quad (38)$$

где $I_{\text{год}}$ – величина всех издержек за календарный год, в которые включены амортизационные расходы; ρk_t – значение всех расходов, связанных с сооружением скважин, теплопереносящих систем, насосных агрегатов и бако-накопительных емкостей.

Для определения электро-энергетической мощности геотермальной скважины применялась такая формула:

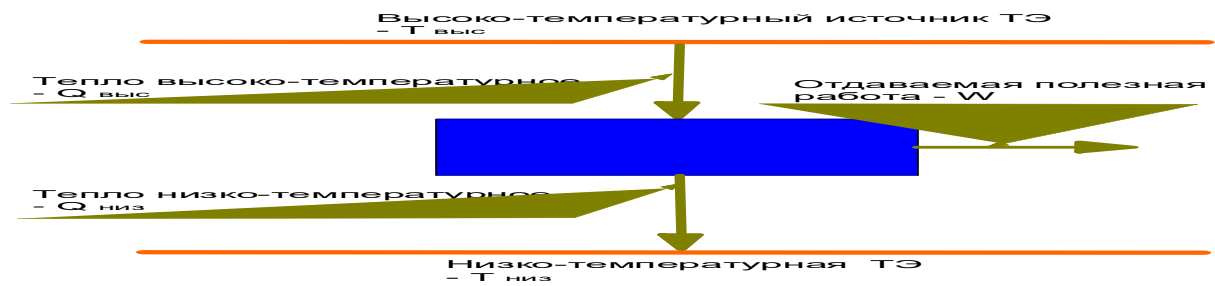
$$N_e = G_c^p N_{\text{рац-эф}}, \quad (39)$$

где N_e – величина соответствующая удельной выработке ЭЭ на тонну геотермальной водосодержащей жидкости, кВт ч/т. При этом следует отметить, что удельная выработка ЭЭ имеет прямую зависимость от температурных параметров водосодержащей жидкости скважины и от принципиальной тепловой схемы геотермальной энергетической станции.

Таким образом, определено, что к основным характеристическим особенностям глубинных геотермальных скважин в условиях Абхазии, является глубина геотермальной скважины.

В главе 5 исследованы методологически обоснованные пути использования тепло-насосных установок (Теп-НУ) в геолого-климатических особенностях Абхазии.

Принцип действия тепловой машины прямого цикла показан на рисунке 41.



Рисунке 41. Схематическое изображение принципа действия тепловой машины прямого цикла

Тепловая машина обратного цикла, представленная на рисунке 42, получает тепло $Q_{\text{выс}}$ от высокотемпературного источника $T_{\text{выс}}$ и сбрасывает его – $Q_{\text{низ}}$ при значениях температуры, намного ниже первоначальных. При этом процессе отдается полезная работа – W .

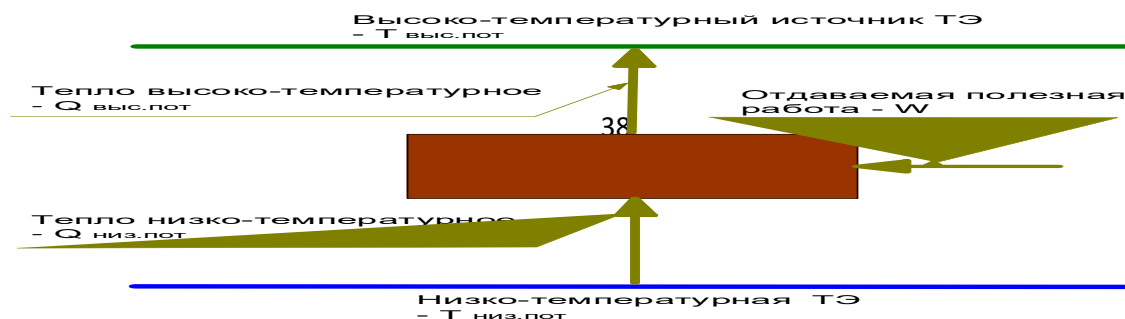


Рисунок 42. Схематическое изображение принципа действия Теп-НУ обратного цикла

Проведены расчеты для получения точных значений термического КПД ($\eta_{\text{терм}}$) у тепловой машины с использованием такой формулы:

$$\eta_{\text{терм}} = W / Q_{\text{выс.пот}}, \quad (40)$$

где $\eta_{\text{терм}}$ – величина термического КПД тепловой машины, %; W – значение отдаваемой полезной работы, Дж; $Q_{\text{выс.пот}}$ – получаемое тепло, ккал.

Для определения величины коэффициента преобразование теплоты (k_T) использовалась следующая формула:

$$k_T = Q_{\text{выс.пот}} / W, \quad (41)$$

где k_T – коэффициент преобразования теплоты; $Q_{\text{выс.пот}}$ – отдаваемое тепло, ккал; W – величина получаемой полезной работы, Дж.

Определено экспериментально-аналитическим образом то, что при работе Теп-НУ дают возможность расходовать в три раза меньше ЭЭ, чем получать ТЭ, то есть при затратах 1кВт ЭЭ выделяется в среднем 3 кВт ТЭ.

Выявлено, что применение Теп-НУ в Абхазии наиболее целесообразно в области теплоснабжения и горячего водоснабжения общественных и жилых зданий.

Для получения оценочно-экономической составляющей выполнялось сравнение только базовых элементов оборудования, парокompрессионных Теп-НУ с охлаждающим устройством, мощностью 6 кВт и электрокотлов мощностью 18 кВт, без внутренних инженерных систем отопления, так как они считаются идентичными.

Полученные результаты технико-экономического сравнения показали, что для Абхазии, более экономически выгодным является теплоснабжение с использованием Теп-НУ с охлаждающим устройством .

В главе 6 представлены технико-технологические изыскания аспектов разработки и эксплуатации автономных ветроэлектростанций в условиях горно-ландшафтной местности Абхазии.

Для определения усредненных значений скорости ветровых потоков была использована такая формула:

$$\bar{v} = (\sum v_{\text{мгн.скор.}}) / n_{\text{пром.врем.}} , \text{ м/с} \quad (42)$$

где \bar{v} – величина усредненных значений скорости ветровых потоков, м/с; $\sum v_{\text{мгн.скор.}}$ – величина суммы определенных значений мгновенной скорости, м/с; $n_{\text{пром.врем.}}$ – количество проведенных определений за некоторый промежуток времени.

При проведении расчетов с целью определения средне-суточных значений скорости ветровых потоков использовалась такая формула:

$$v_{\text{уср.сут}} = \frac{\sum v_{\text{уср.сут}}}{365} , \text{ м/с} \quad (43)$$

где $v_{\text{уср.сут}}$ – величина усреднено-суточных значений скорости ветровых потоков, м/с; $\sum v_{\text{уср.сут}}$ – сумма усреднено-суточных значений скорости ветровых потоков, м/с.

Разработаны и исследованы методико-расчетные принципы определения ветроэнергетических характеристик скоростных режимов ветровых потоков в условиях Абхазии.

В таблице 6 представлены основные показатели коэффициента количества часов использования полной установленной мощности при различных значениях единично-установленной мощности ВЭС.

Табл. 6

Показатели коэффициента использования полной установленной мощности при различных значениях единично-установленной мощности ВЭС, в ч и в %

№ п/п	Единично-установленная мощность ВЭС, кВт	Удельно-расчетные значения производства ЭЭ на ВЭС за год, кВт ч/м ²	количество часов использования полной установленной мощности, ч	Коэффициент использования полной установленной мощности, %
1.	40	530	2346	23,4
2.	120	654	2248	24,1
3.	250	730	2010	23,1
4.	750	853	2085	23,9
5.	1500	924	2432	25,3
6.	2000	967	2367	26,3
7.	2300	978	2457	26,5
8.	2500	987	2030	24,5
9.	3000	995	2486	26,8

Используя все параметрические данные ВЭС, можно с высокой точностью определить полный объем произведенной ею ЭЭ. При этом была проверена достоверность имеющихся данных, при использовании следующего выражения:

$$W_{\text{в.э.э.за год}} = k_{\text{к.ч.и.п.у.м.}} N_{\text{е-у.м.в-эс.}} T \quad , \quad (44)$$

где $W_{\text{в.э.э.за год}}$ – величина ЭЭ, произведенной ВЭС в течение года, кВт/ч; $N_{\text{е-у.м.в-эс.}}$ – величина единично-установленной мощности ВЭС, кВт; $T = 8760$ часов – количество часов работы ВЭС в году, ч.

При этом для определения нормировано-расчетной себестоимости произведенной ЭЭ на ВЭС использовалось такое выражение:

$$C_{\text{н-р.с.э.}} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{I_{\text{и.р.}} + M_{\text{э.изд.}} + P_{\text{ам.р.}}}{(1+r)^t}}{\sum_{i=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}} \quad , \quad (45)$$

где $C_{н-р.с.э.}$ – величина нормированно-расчетной себестоимости выработки ЭЭ на ВЭС, тыс. руб.; $I_{и.р.}$ – величина инвестиционных расходных статей за год, тыс. руб.; $M_{э.изд.}$ – величина эксплуатационных издержек, тыс. руб.; $P_{ам.р.}$ – величина амортизационных расходов, тыс. руб.; E_t – значение, соответствующее произведенной ЭЭ на ВЭС за год, МВт/ч; i – время эксплуатации ВЭС, годы.

Для определения сроков окупаемости ВЭС на основе общедоступных входных параметров использовалась такая формула:

$$T_{ср.окуп.} = \frac{K_{общ.кап.}}{D_{в.д.} - I_{э.изд.}}, \quad (46)$$

где $T_{ср.окуп.}$ – значение, соответствующие сроку окупаемости, годы; $K_{общ.кап.}$ – величина общих капитальных вложений, тыс. руб.; $D_{в.д.}$ – величина всех доходов, тыс. руб.; $I_{э.изд.}$ – величина эксплуатационных издержек, тыс. руб.

Таким образом, для определения сроков окупаемости ВЭС в Абхазии самым оптимальным можно считать упрощенный способ расчетов, который использует общеизвестные входные параметры.

В главе 7 проведены рационально-формализованные аналитические разработки тенденций получения водорода в условиях Абхазии.

Рассмотрен способ получения водорода в условиях Абхазии с использованием энергии Солнца, которая применяется для выделения водорода из воды через волны С-ЛР прямо в фотохимических реакциях. К весьма важным свойствам С-ЛР как энергетического источника необходимо отнести несколько невысокий уровень общего солнечного потока, который исчисляется в сотнях ватт на метр квадратный, что дает небольшие параметры КПД общегодовой работы, составляющие не более 22 %.

На рисунке 43 показана схема получения водорода методом электролиза воды с использованием фотоэлектрических солнечных панелей.

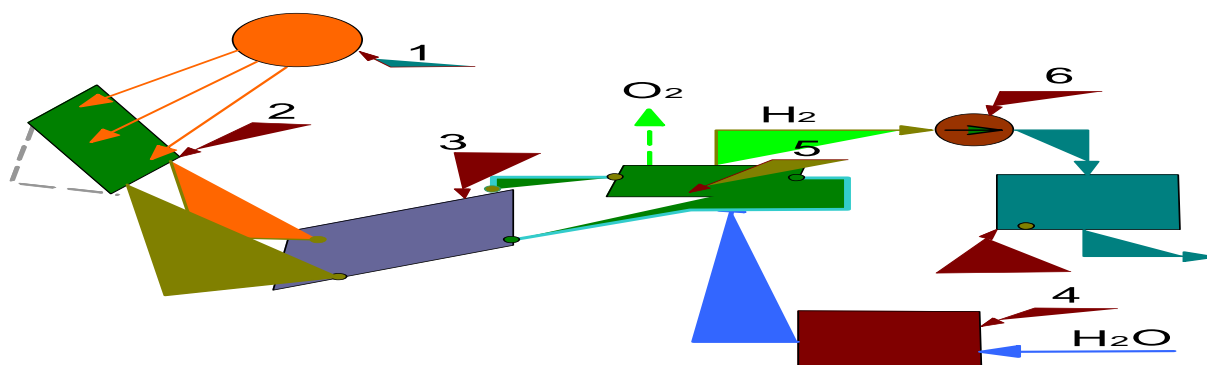
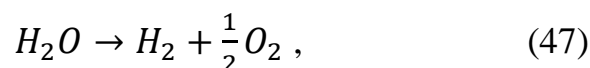


Рисунок 43. Схема получения водорода методом электролиза воды с использованием фотоэлектрических солнечных панелей: 1 – Солнце; 2 – фотоэлектрические солнечные панели; 3 – система преобразующих устройств; 4 – емкости с водой; 5 – электролизер; 6 – электронасос; 7 – хранилище водорода.

Для получения суммарного выражения, определяющего процесс разложения воды, использовалась формула:



из которой видно, что для того, чтобы получить около (100 г) водорода, следует использовать (850 г) воды и 2455 А·ч электрической энергии. При этом для определения затраченной в этой реакции ЭЭ использовалась такая формула:

$$W_{\text{ЭЭ}} = 2,395U, \quad (48)$$

где $W_{\text{ЭЭ}}$ – величина, соответствующая затраченной в реакции разложения воды ЭЭ, кВт ч.

Для определения расчетных затрат на получение водорода из воды путем электролиза можно использовалась следующая формула:

$$Z_{\text{рас.}} = \frac{C_{\text{ЭЭ}}}{\eta_{\text{элкт.}}} + \frac{P_{\text{год.}} \cdot k_{\text{удел.норм.}}}{\eta_{\text{элкт.}} \cdot \tau} \cdot 100, \quad (49)$$

где $Z_{\text{рас.}}$ – величина расчетных затрат на получение водорода из воды путем электролиза, руб·кВт·ч; $\eta_{\text{элкт.}}$ – величина, соответствующая КПД электролизерной установки; $P_{\text{год.}}$ – величина постоянных годовых расходов; $k_{\text{удел.-норм.}}$ – величина удельно-нормативного коэффициента эффективного капиталовложения в электролизерное оборудование, руб. на кВт

электрической мощности, подведенной к электролизерной установке; τ – величина, соответствующая общему числу часов работы электролизерной установки в году, час.

Расчетно-аналитическим способом определено, что добиться снижения затрат на производство водорода в Абхазии электролизом воды можно при использовании щелочных энергоэффективных электролизеров или высокотемпературных электролизеров. Эффективную мощность этих источников ЭЭ в настоящее время можно оценивать только по проектным и расчетно-конструкторским разработкам.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Впервые разработана и исследована новая схема замещения САГ, в компьютерной программе EWB. Она позволяет проводить эксперименты с целью получения механических и рабочих характеристик САГ. При этом результаты отличаются от натуральных экспериментов на 4%, что находится в допустимых пределах.
2. Впервые разработано в программе EWB совокупное системное устройство для регулирования напряжения на САГ. В нем предложено совершенно новая конструкция регулятора, в котором изменяется не индуктивность, а реактивный ток емкости. При этом, сама емкость остается постоянной. Это существенно упрощает конструкцию, а следовательно, и уменьшает стоимость МГЭС.
3. Исследовано оптимизационно-техническое обоснование перспективности разработки, реконструкции и внедрения миниГЭС и МГЭС в Абхазии, для повышения общей эффективности энергетической структуры.
4. Получены решения при проведении комплексных фундаментально-теоретических исследований ФЭнУ.
5. Определен алгоритм оценочных сопоставлений эколого-экономических особенностей С-ЛР.
6. Создана и исследована в программе Matlab, универсальная модель ФЭМ. При этом, оптимизирована методика моделирования структурированной системы электрификации с учетом особенностей, влияющих на изменения волн С-ЛР в зависимости от температурных режимов окружающей среды в условиях Абхазии.
7. Расчетно-аналитическим путем определено, что к экономико-

характеристическим особенностям глубинных геотермальных скважин в условиях Абхазии, относятся удельные капитальные вложения, суммарные приведенные затраты, а также капиталозатраты на геолого-разведывательные и буровые работы.

8. Получены результаты технико-экономического расчетного сравнения, которые показали, что в условиях Абхазии целесообразно использование Теп-НУ с охлаждающим устройством, для теплоснабжения и горячего водоснабжения общественных и жилых зданий.

9. На основании объективных технико-экономических оценок ВЭС определена нормировано-расчетная себестоимость выработки ЭЭ. При этом для определения сроков окупаемости ВЭС в Абхазии самым оптимальным можно считать упрощенный способ расчетов, который использует общеизвестные входные параметры.

10. На основании проведенных расчетно-экспериментальных исследований доказано, что добиться снижения затрат на производство водорода в Абхазии электролизом воды можно при использовании щелочных энергоэффективных электролизеров или высокотемпературных электролизеров, работающих при напряжениях фазных ячеек ($U \leq E_q''$). При этом в качестве источников ЭЭ целесообразно использовать гидроэлектростанции и купированные автономные солнечные электростанции.

Основные результаты диссертационной работы изложены в публикациях, рекомендованных ВАК АНА и приравненных к ним:

1. Кимкетов Э.М. Малогабаритная передвижная электростанция //Э.М. Кимкетов, М.Д. Кимкетов. – Электрика. №8. М., 2006. – С. 48 – 51.
2. Кимкетов Э.М. Характеристика асинхронного генератора для микро-ГЭС //Э.М. Кимкетов, М.Д. Кимкетов. – Механизация и электрификация сельского хозяйства. №12. М., 2008. – С. 47 -48.
3. Кимкетов Э.М. Совершенствование моделирования автономного асинхронного генератора//Э.М. Кимкетов, М.Д. Кимкетов. – Электрика. №11. М., 2009. – С. 17 -19.
4. Кимкетов Э.М. Разработка Микро-ГЭС для фермерского хозяйства //Э.М. Кимкетов, М.Д. Кимкетов. – Механизация и электрификация сельского хозяйства. М., 2009. – С. 38 - 40.
5. Кимкетов Э.М. Новая схема замещения АГ с электронными системами регулирования // Э.М. Кимкетов, М.Д. Кимкетов, В.Ф. Зинченко,

- М.М. Кимкетов. – Электричество. № 1. М., 2010. – 28 – 34.
6. Кимкетов Э.М. Оптимизация электродвигателя // Э.М. Кимкетов, М.Д. Кимкетов. – Промышленная энергетика. № 1. М., 2012. – С. 53 – 56.
 7. Кимкетов Э.М. Микро-ГЭС для электроснабжения небольших изолированных потребителей в условиях республики Абхазия// Э.М. Кимкетов, М.Д. Кимкетов. – Энергетик. № 2. М., 2017. – С. 87 – 89.
 8. Кимкетов Э.М. Устройство автоматической стабилизации напряжения асинхронного генератора на микроГЭС // Э.М. Кимкетов, М.Д. Кимкетов. – Промышленная энергетика. № 4. М., 2019. – С. 15 -19.
 9. Кимкетов Э.М. Асинхронный самовозбуждающийся генератор для автономных потребителей малой мощности в условиях Абхазии // Э.М. Кимкетов, М.Д. Кимкетов. – Журн. «Интернаука». № 2. 2020. – С. 53 -56.
 10. Кимкетов Э.М. Исследование солнечных установок для выработки тепловой и электрической энергии в условиях Абхазии // Э.М. Кимкетов, Я.А. Экба, А.И. Марколия, М.Д. Кимкетов. – Вестник АНА, сер. «Естественные науки». Сухум, 2021. – С. 148 – 156.
 11. Кимкетов Э.М. Анализ основных типов тепловых насосов // Э.М. Кимкетов, М.Д. Кимкетов. – Вестник АНА, сер. «Естественные науки». Сухум, 2021. – С. 157 – 165.
 12. Кимкетов Э.М. Перспективные тенденции, направленные на использование энергии солнца в Абхазии // Э.М. Кимкетов, Я.А. Экба, А.И. Марколия, М.Д. Кимкетов. – Вестник АНА. Сер. «Естественные науки». Сухум, 2022. – С. 52 - 58
 13. Кимкетов Э.М. Математическое моделирование солнечной панели в компьютерной программе Matlab/ Simulink // Э.М. Кимкетов, Я.А. Экба, А.И. Марколия, М.Д. Кимкетов. – Вестник АНА. Сер. «Естественные науки». Сухум, 2022. – С. 59 – 64.
 14. Кимкетов Э.М. Расчетное обоснование вольтамперно-параметрических характеристик фотоэлектрических модулей (ФЭМ) // Э.М. Кимкетов, Я.А. Экба, А.И. Марколия, М.Д. Кимкетов. – Вестник АНА. Сер. «Естественные науки». Сухум, 2023.
 15. Кимкетов Э.М. Реально-востребованные фотоэнергетические устройства (ФЭНУ) применение которых весьма целесообразно в условиях Абхазии// Э.М. Кимкетов, М.Д. Кимкетов. – Вестник АНА, сер. «Естественные науки». Сухум, 2023.

Монография (Научное издание)

1. Кимкетов Э.М., Кимкетов М.Д., Марколия А.И., Экба Я.А. Научно – методологические основы альтернативной концепции развития энергетики в условиях Абхазии с использованием самовосстанавливаемых источников энергии(СВИЭ). – Абхазия.: АГУ, 2023. – 380с; ил.

Патенты по теме диссертации:

1. **Патент РФ на изобретение:** Устройство подзарядки конденсаторной батареи на ответвительной подстанции / Э.М. Кимкетов, М.Д. Кимкетов. - № 2338312 от 10.11.2008. Бюл. №31.

2. **Патент РФ на изобретение:** Регулируемый источник реактивной мощности / Э.М. Кимкетов, М.Д. Кимкетов. - №2394355 от 10.07.2010. Бюл. №19.

Дополнительно опубликовано 52 статьи по теме диссертационной работы в других изданиях (Журналах, сборниках докладов конференций)