**ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

доктора технических наук, профессора кафедры «Электротехника, теплотехника и возобновляемые источники энергии» ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет»,

Амерханова Роберта Александровича

на диссертацию **Химича Антона Павловича**

«Повышение эффективности когенерационных установок с концентраторами солнечной энергии», представленную на соискание степени кандидата технических наук по специальности 05.14.08 – Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии.

Диссертационная работа Химича А.П. выполнена в ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского» (ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»).

Работа состоит из оглавления, списка условных обозначений и сокращений, введения, пяти разделов, заключения и списка литературы, изложенных на 153 страницах машинописного текста, иллюстрированного 57 рисунками и 11 таблицами, а также 7 приложений. Список литературы включает 130 наименований, из них 46 – на иностранных языках.

**Оценка работы по главам**

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель работы, определены объект, предмет и методы исследования, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первом разделе проведен обзор основных типов солнечных энергоустановок, современное состояние и перспективы развития солнечной энергетики. Указаны возможности применения различных типов концентраторов солнечной энергии, рассмотрены существующие технические решения когенерационных энергоустановок, основные направления их развития, поставлена цель и сформулированы задачи исследования.

Во втором разделе приведена методика теоретической и экспериментальной части исследования. Указано, что в работе применялось математическое моделирование. Все алгоритмы были реализованы в специально разработанных компьютерных программах. Описана разработка измерительной регистрирующей системы для проведения эксперимента. Для компонентов регистрирующей системы приведены паспортные данные, сделан вывод о достоверности результатов измерения, приведены значения погрешностей измерения тока и напряжения.

В третьем разделе рассмотрена математическая модель когенерационной энергоустановки с концентраторами солнечной энергии. В основе математической модели лежат дифференциальные уравнения теплопроводности и вольт-амперная характеристика

фотоэлемента. Моделируется приемник солнечной энергии, представленный в виде сетки элементарных блоков (ячеек) в трехмерном пространстве. Для каждой ячейки итерационным методом производится численное решение уравнений. Приведенная математическая модель позволяет изучать фотоэлементы нескольких типов, при этом параметры фотоэлементов задаются в виде их вольт-амперных характеристик. Разработанная математическая модель применена для сравнения нескольких расчетных схем приемников. В результате сделан вывод о наиболее эффективной схеме, состоящей из приемника, закрепленного на охлаждающей трубке, которая в дальнейшем используется при конструировании экспериментальной энергоустановки. Приведена предлагаемая конструкция когенерационной энергоустановки, состоящая из концентрирующих модулей. Каждый концентрирующий модуль снабжен собственным приемником излучения в виде фотоэлемента, линзой Френеля и охлаждающей трубкой. Модули располагаются на небольшой высоте, на вращающейся платформе. В серийном варианте предложено использовать 30 модулей в одном агрегате. Вращающуюся платформу при этом предложено установить на кольцевой рельс для обеспечения высокой точности установки азимутального угла.

В четвертом разделе приведены основные этапы конструирования экспериментальной когенерационной энергоустановки. Спроектирована автоматическая системы ориентации на солнце, которая работает с помощью современной микроконтроллерной техники и производит вычисление необходимых углов ориентации на основе данных о дате, времени и географическом положении. Описана схема устройства экспериментальной установки, ее основные узлы. Приведены данные испытаний экспериментальной установки при различных интенсивностях солнечного излучения, температуре охлаждения, расходе теплоносителя.

В пятом разделе полученные экспериментальные данные обработаны и представлены в виде графиков и регрессий. Собранные и систематизированные для экспериментальной установки данные использованы для уточнения математической модели для конкретной расчетной схемы экспериментальной установки. Проведено моделирование концентрирующего модуля при теоретической замене исходного кремниевого фотоэлемента на каскадный фотоэлемент. В результате проведенного анализа получены обобщенные данные, сделаны выводы об оптимальных диапазонах концентрации для рассмотренных типов фотоэлементов. На основе полученных теоретических данных выполнено технико-экономическое обоснование выбранных когенерационных энергоустановок, сделаны выводы об экономической эффективности использования когенерации с применением концентраторов и без них, а также себестоимости электроэнергии, полученной на когенерационных энергоустановках для различных регионов России.

В приложениях приведены алгоритмы разработанных компьютерных программ.

**Актуальность темы исследования.**

Актуальность работы не вызывает сомнения в связи с тем, что применение возобновляемых источников энергии для энергоснабжения потребителей в удаленных районах, малонаселенной местности, в заповедных, рекреационных регионах, позволяет сохранить экосистему, снизить вредные выбросы, получить энергию там, где отсутствуют традиционные источники или нет возможности доставки энергоресурсов из других регионов. Использование когенерации тепловой и электрической энергии позволяет более эффективно применять солнечную энергию, но соотношение тепловой и электрической энергии может значительно варьироваться в зависимости от конструкции установки и внешних условий.

Разработка средств математического моделирования в области солнечной энергетики и, в частности, алгоритмов и программ для моделирования когенерационных энергоустановок, позволяет автоматизировать процесс проектирования и расчета таких систем. Используемое программное обеспечение представляет собой общие средства математического моделирования (Mathcad, Matlab, Maple) требует определенной математической подготовки. Разработка компьютерной программы, направленной на моделирование солнечных концентрирующих энергоустановок, является актуальной задачей, решенной в данной работе.

**Степень обоснованности научных подходов и положений, выводов и рекомендаций, их достоверность и новизна**

Достоверность результатов.

Экспериментальные исследования проведены с использованием поверенного и специально разработанного оборудования. Достоверность полученных результатов подтверждается результатами их обработки и анализа, согласованностью экспериментальных и теоретических данных.

Работа содержит шесть общих выводов, основанных на результатах теоретических и экспериментальных исследований. Каждый вывод диссертационной работы включает в себя решение поставленных перед исследованием задач.

Первый вывод достоверен и содержит информацию о разработанной математической модели.

Второй вывод содержит информацию о разработанном алгоритме и компьюторной программе. Достоверность вывода подтверждается материалами исследований, опубликованных автором в статьях. Результаты исследования, представленные в выводе, представляют практическую значимость.

Третий вывод содержит имнформацию о методике применения компьютерной программы для моделирования когенерационных энергоустановок с концентраторами солнечной энергии. Достоверность подтверждена совместным использованием теоретических и экспериментальных исходных данных.

Четвертый вывод содержит информацию о системе автоматической регистрации экспериментальных данных. Достоверность вывода подтверждается патентом, а сам вывод имеет практическую значимость.

Пятый вывод содержит информацию о модульной экспериментальной когенерационной энергоустановке на базе фотопреобразователей и линз Френеля, с устройством ориентации на Солнце. Достоверность подтверждена совместным использованием теоретических и экспериментальных исходных данных.

Шестой вывод достоверен и содержит техническое решение когенерационной энергоустановки, рекомендуемое для применения в труднодоступных регионах в качестве источника электрической и тепловой энергии.

**Значимость для науки и практики результатов диссертационного исследования**

Научная новизна работы заключается в:

- разработанной математической модели когенерационной энергоустановки с концентратором солнечной энергии, объединяющей в себе уравнения тепловых и электрических процессов в элементах установки;
- разработке принципиальных электронных схем, алгоритмов и программ для системы ориентации на солнце, системы измерения и регистрации экспериментальных данных, преобразовательного выходного блока для фотоэлемента;
- разработке и исследовании физической модели экспериментальной когенерационной энергоустановки;
- полученных экспериментально и теоретически зависимостей выходных характеристик когенерационной энергоустановки от степени освещенности, температуры и расхода теплоносителя;
- разработанной методики использования экспериментальных данных, полученных на когенерационной энергоустановке и паспортных данных фотоэлемента для создания частной математической модели и теоретической замены фотоэлемента в энергоустановке.

Практическую значимость работы представляют:

- компьютерная программа для создания расчетных схем когенерационных энергоустановок и их моделирования;
- блок для регистрации экспериментальных данных, созданный с применением микроконтроллера и имеющий возможность связи с ЭВМ для передачи данных;
- блок управления системой ориентации на солнце на базе микроконтроллера;
- физическая модель когенерационной экспериментальной энергоустановки;
- разработанная методика применения компьютерного моделирования для теоретической замены типа фотоэлемента в составе энергоустановки.

**Степень разработанности в целом и качество оформления**

Диссертационная работа Химича А.П. является завершенной научно-квалификационной работой, грамотно оформлена и иллюстрирована, изложена в соответствии ГОСТР 7.0.11-2011. По структуре, содержанию, стилю изложения и глубине научных исследований соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатской диссертации.

Результаты исследований могут использоваться при проектировании когенерационных систем солнечного тепло- и электроснабжения. Они могут также использоваться в образовательном процессе в ВУЗах в качестве дополнительного современного материала в учебных дисциплинах, соответствующих направлению представленных исследований.

**Подтверждение опубликования основных результатов диссертации в научных изданиях**

По материалам диссертации опубликовано 12 печатных работ, получен 1 патент на полезную модель. 3 статьи опубликовано в изданиях перечня ВАК РФ, 4 в изданиях перечня ВАК Украины. Материалы диссертации апробированы на 5 конференциях. Опубликованные работы достаточно полно раскрывают содержание диссертации.

**Соответствие содержания автореферата идеям и выводам диссертации**

Содержание автореферата достаточно полно отражает основные положения представленные в диссертации, характеризует вклад автора в решение обозначенной научно-практической проблемы, раскрывает степень новизны и обосновывает достоверность полученных результатов. Изложение результатов и заключения противоречий не содержит.

**Недостатки по содержанию и оформлению диссертации**

1. «Моделирование погодных условий» – погодные условия каких регионов имеются ввиду? (3.2.1., стр. 56)
2. Применение интегрального закона излучения Стефана-Больцмана в математической модели, не достаточно обосновано, так как фотоэлектрические преобразователи чувствительны к определенным областям спектра? (3.2.2, стр. 60)
3. Насколько снижается точность решения дифференциальных уравнений при использовании дискретных численных методов по сравнению с аналитическим методом расчета? (стр. 61)
4. Оценивалась ли точность и надежность датчиков контрольных положений, применяемых в макете когенерационной установки? (стр. 88)
5. Схема блока ориентации на солнце предусматривает питание от сети. Возможно ли осуществлять питание данного блока от автономного источника энергии? (стр. 108)

6. Расчет механических узлов, приведенный в пункте 4.2.2, применим для экспериментальной установки. Будет ли он полезен для промышленного варианта, если изменятся материалы и размеры деталей?
7. Указано, что выбранный шаговый двигатель загружен приблизительно на 50% мощности. Было бы экономически целесообразнее выбрать другой двигатель? (стр. 98)
8. В выбранном масштабе линия электрической мощности фотоэлемента на графике выглядит пренебрежимо малой (стр. 122).
9. На какой год были рассчитаны капиталовложения? Учтены ли инфляционные процессы и экономический кризис? (стр. 125)
10. Стр. 125 – вероятно, опечатка в ссылке на рисунок 5.10. Указанный рисунок не содержит график зависимости КПД фотоэлемента от коэффициента освещенности.
11. Рекомендуемый объем для кандидатской диссертации составляет не более 150 страниц.

**Заключение о соответствии диссертации требованиям ВАК и рекомендации по присуждению ученой степени**

Диссертационная работа Химича Антона Павловича «Повышение эффективности когенерационных энергоустановок с концентраторами солнечной энергии» представляет собой завершенную научно-квалификационную работу и соответствует требованиям ВАК РФ для диссертационных работ (в соответствии с п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013). Приведенные замечания не снижают научной и практической ценности работы.

Автор диссертации Химич А.П. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.08 – Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии.

Официальный оппонент:
доктор технических наук (специальность 05.10.08), профессор кафедры «Электротехника, теплотехника и возобновляемые источники энергии» ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет» _____ Р.А. Амерханов

«28» января 2016 г.

Личную подпись тов. _____ заверяю.

Начальник отдела кадров