

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, доцента Обухова Сергея Геннадьевича
на диссертационную работу **Кривенко Татьяны Витальевны**
на тему «Развитие моделей и методов оценки надежности автономных систем генерации,
использующих возобновляемые источники энергии» по специальности 05.14.02 -
Электрические станции и электроэнергетические системы на соискание учёной степени
кандидата технических наук.

1. Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 114 наименований, 7 приложений. Основное содержание работы изложено на 127 страницах, включая список литературы, содержит 23 рисунка, 38 таблиц.

Автореферат отражает содержание диссертационной работы в необходимом объеме.

2. Анализ содержания диссертационной работы

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследований, научная новизна и практическая значимость полученных результатов, изложены основные положения, выносимые на защиту, дана общая характеристика работы, приведены сведения о практической реализации и апробации результатов работы.

В **первой главе** дана общая характеристика проблемы надежности электроснабжения потребителей децентрализованных регионов, обосновано применение возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в автономных системах генерации (АСГ) совместно с дизель-генераторными установками (ДГУ) и/или накопителями энергии. Проанализированы основные причины отказов оборудования систем генерации на основе ВИЭ и их показатели надежности. Проведен аналитический обзор существующих методов оценки и расчета надежности АСГ на основе ветровой и/или солнечной энергии. Представлены наиболее известные методы и выявлены их ограничения. Обоснована необходимость развития математических моделей для совершенствования методов оценки надежности АСГ с использованием ВИЭ.

Вторая глава работы посвящена развитию математических моделей и методов оценки надежности АСГ на основе ветровой и/или солнечной энергии. Рассмотрены автономные ветродизельные энергокомплексы (ВДК), солнечно-дизельные установки (СДУ) и гибридные солнечно-ветро-дизельные энергокомплексы.

Автором усовершенствован логико-вероятностный метод на основе динамического дерева отказов (ДДО) для оценки надежности автономных ВДК, отличающийся от известных возможностью моделировать зависимые процессы отказов, анализировать последовательность происходящих событий, учитывать состояния резервных элементов системы и коммутационной аппаратуры путем введения в деревья отказов динамических операторов, реализуемых с помощью марковских моделей.

Предложен мультиматричный метод для расчета надежности автономной СДУ, основанный на вероятностной модели, позволяющий учитывать стохастический характер солнечной радиации посредством получения мульти-состояний.

Развита модель надежности АСГ, в состав которой входят ветро-, фото энергетические установки и ДГУ, позволяющая учесть отказы генерирующих элементов системы, погодные условия и оценить недоотпуск электроэнергии потребителям.

В **третьей главе** предложен критерий выбора оптимального варианта схемы АСГ на основе ВИЭ из числа некоторых возможных, который включает затраты, связанные с требуемыми инвестициями и эксплуатацией системы, и затраты от перерыва электроснабжения потребителей (ущерб). Затраты, обусловленные аварийным перерывом

электроснабжения рассматриваются, как математическое ожидание дополнительных эксплуатационных расходов.

Автором установлено, что при принятии эффективного технического решения по выбору оптимальной схемы построения АСГ на основе ВИЭ могут возникнуть ситуации, когда варианты схем находятся в зоне неопределенности интегральных критериев надежности и экономичности. Предложен метод многокритериального выбора решения, согласно которому в качестве оптимального варианта выбирается тот, у которого достигается наибольшая общая оценка эффективности.

В **четвертой главе** выполнены расчеты надежности функционирования и экономической эффективности АСГ с использованием энергетических установок на основе ВИЭ для трех населенных пунктов Красноярского края с различным составом энергоисточников и возможностью аккумулирования энергии. Рассматриваемые АСГ функционируют на территориях с различными солнечными и ветровыми ресурсами, определяющими их состав и структурную схему. Для каждого из рассматриваемых вариантов обоснован и выбран оптимальный вариант схемы построения АСГ с учетом надежности, выполнена оценка его экономической эффективности.

В **заключении** сформулированы основные научные и практические результаты работы.

Проведенный анализ содержания диссертационной работы свидетельствует о том, что диссертация Кривенко Т.В. является завершенной научной квалификационной работой, в которой содержится решение поставленной научной задачи. Диссертация написана ясным и содержательным языком, принятая терминология и стиль соответствуют общепринятым нормам.

3. Актуальность темы исследования для науки и практики

Около 70% территории России относится к зонам децентрализованного электроснабжения, на которых по разным оценкам проживает от 10 до 20 миллионов человек. Большинство этих территорий расположены в районах с суровыми климатическими условиями – Сибирь, Дальний Восток, Крайний Север, Арктические зоны Российской Федерации, и от надежности электроснабжения потребителей в данных условиях зависит не только социально-экономическое развитие регионов, но и безопасность людей.

Основным источником электроэнергии для децентрализованных потребителей в настоящее время являются ДГУ, системам электроснабжения на базе которых присущи следующие недостатки: сложность и высокая стоимость доставки топлива в труднодоступные районы, небольшой эксплуатационный ресурс дизельных двигателей, загрязнение окружающей среды. Повысить эффективность систем электроснабжения децентрализованных потребителей, снизить себестоимость электроэнергии и уменьшить влияние отказов оборудования ДГУ возможно за счет создания автономных систем генерации, использующих ВИЭ.

Интеграция ВИЭ в АСГ придает ей новые свойства, обусловленные воздействием на основное энергетическое оборудование множества возмущающих факторов, существенно влияющих на показатели надежности АСГ. Учет надежности позволяет оценить влияние аварийных отказов и состава оборудования на выработку электроэнергии АСГ, а также обеспечивает более точный расчет технико-экономических показателей таких энергетических систем на стадии проектирования.

Тема диссертации соответствует Федеральному закону Российской Федерации № 261-ФЗ от 23.11.2009 г. «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», распоряжению Правительства РФ №1-р от 08.01.09 «Об использовании возобновляемых источников энергии».

Таким образом, диссертационная работа Кривенко Т.В., направленная на развитие математических моделей и методов оценки надежности АСГ на основе ВИЭ, является актуальной и своевременной.

4. Соответствие диссертации и автореферата паспорту специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы

Объектом диссертационного исследования являются автономные системы генерации электрической энергии, построенные на основе энергетических установок, использующих ВИЭ.

В диссертации и автореферате представлены результаты решения конкретных задач, направленных на разработку и совершенствование методов оценки надежности электрооборудования и оптимизации структуры энергетических комплексов с установками ВИЭ, разработке методов математического моделирования и использования ЭВМ для решения задач в электроэнергетике. Это подтверждает их соответствие паспорту научной специальности 05.14.02 по техническим наукам.

5. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна

Основными научными и наиболее важными результатами диссертационной работы являются:

- усовершенствован логико-вероятностный метод на основе динамического дерева отказа для оценки надежности автономных ветро-дизельных комплексов, отличающийся от используемых в настоящее время методов возможностью моделировать зависимые процессы отказов, анализировать последовательность происходящих событий, учитывать состояния резервных элементов системы и коммутационной аппаратуры путем введения в деревья отказов динамических операторов, реализуемых с помощью марковских моделей;
- предложен и реализован мультиматричный метод для расчета надежности автономных солнечно-дизельных установок, основанный на вероятностной модели, позволяющий учитывать стохастический характер солнечной радиации, выявить все виды аварий, возможных при совпадении отказов элементов установки с ремонтными и эксплуатационными режимами, отличающимися составом и вероятностью повреждения оборудования;
- развита модель надежности объединенной системы генерации, в состав которой входят ветро-, фото-электрические и дизель-генераторные установки, позволяющая учесть отказы генерирующих элементов системы, погодные условия и оценить недоотпуск электроэнергии потребителям.

Основные выводы и результаты работы теоретически обоснованы и получены автором впервые. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается тщательным анализом и оценкой принятых исходных положений, корректным использованием математического аппарата при проведении теоретических исследований, сопоставлением с результатами других аналогичных исследований, опубликованных в научной литературе. Результаты исследований обсуждались на международных и всероссийских конференциях, по результатам работы опубликовано достаточное количество научных работ.

6. Практическая значимость работы

Практическая значимость работы заключается в разработанном комплексе прикладных программ, реализующих предложенные методы оценки надежности АСГ на основе ВИЭ, позволяющих на стадии проектирования оценить надежность и экономическую эффективность АСГ различных конфигураций и составов и выбрать оптимальное техническое решение.

Разработанные на основе результатов диссертационной работы математические модели оценки надежности ветро-дизельных и солнечно-дизельных установок с учетом изменения погодных условий и методики расчета экономической эффективности технических решений

АСН на основе ВИЭ с учетом надежности приняты к использованию в проектной практике ООО «Проектно-монтажная компания Сибири».

7. Апробация диссертационной работы

Основные положения работы обсуждались и получили одобрение на VIII Международной научно-технической конференции «Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов» (Благовещенск, 2015 г.), VI Международной молодежной научной конференции «Молодежь и XXI век – 2016» (Курск, 2016 г.), XIV Международной научно-практической конференции «Инновационные научные исследования: теория, методология, практика» (Пенза, 2018 г.), X Всероссийской технической конференции «Молодежь и наука» (Красноярск, 2014 г.), Всероссийской научно-технической конференции «Борисовские чтения» (Красноярск, 2017 г.).

8. Подтверждение опубликования основных положений и результатов диссертации

По основным положениям диссертации опубликовано 12 научных работ, в том числе 3 работы в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для опубликования результатов диссертационных исследований.

9. Основные замечания по работе

В целом содержание диссертационной работы Кривенко Т.В., ее основные положения, выводы и результаты возражений не вызывают. Однако, можно сделать следующие замечания:

1. При определении ожидаемой выработки электроэнергии ФЭП (ф. 1.6) автор использует усредненное для i -го месяца суточное удельное значение падающей радиации E_i . Соответственно, для корректного определения ожидаемой выработки электроэнергии в данной формуле нужно использовать полное число дней месяца, а не только солнечных, как это делает автор.

2. Для определения потерь энергии, вызванных отказом ДГ, в ф. 2.17 логичнее вместо номинальной мощности ДГ использовать среднесуточное значение мощности электрических нагрузок потребителя.

3. Выполняя оценку надежности ВДК (п. 4.1) автор считает, что весь ожидаемый объем выработанной ВЭУ электроэнергии будет полезно использован потребителем. Но это справедливо только тогда, когда установленная мощность ВЭУ не превышает минимальную величину нагрузок энергокомплекса, или когда в его составе используются накопители энергии достаточной емкости. Очевидно, что исключение из состава ВДК АБ (3 вариант) существенно уменьшит капитальные затраты, но в то же время приведет к существенному снижению полезно используемой энергии, генерируемой ВЭУ, что не учитывает автор.

4. При оценке надежности ВДК для поселка Воронцово автор использует метод ДДО (рис. 4.2-4.4). При этом для всех рассматриваемых вариантов за вероятность отказа всей системы автор принимает вероятность одновременного отказа всех генерирующих источников: ДГ, ВЭУ и АБ в независимости от их номинальной мощности. Однако, данный подход правомерен только в том случае, если номинальной мощности каждого из источников достаточно для полного покрытия электрической нагрузки потребителя. При величине пиковой нагрузки поселка в 600 кВт, ее питание от одной ВЭУ 120 кВт (вар. 1), от одной ВЭУ 150 кВт (вар. 2), или от одного ДГ 150 кВт (вар. 3) также с большой вероятностью можно считать за отказ всей системы.

5. Для расчета недовыработки электроэнергии ВЭУ автор предлагает использовать выражения (2.15), (2.16), в которые в качестве переменной входит средняя мощность ВЭУ. В расчетных же данных (табл. 4.3-4.5) величина недовыработки электроэнергии определена по номинальной мощности ВЭУ, что приводит к существенному искажению результатов в оценке надежности ВДК в целом.

6. Не ясно, как определены потери энергии в АБ (табл. 4.3, 4.4). Согласно ф. 2.18 величина потерь энергии в АБ при прочих равных условиях прямо пропорциональна суммарной емкости батареи. Соответственно, для первого рассматриваемого варианта ($W_{AB}=2400$ кВт·ч) потери энергии должны быть больше, чем для второго ($W_{AB}=1600$ кВт·ч), но автором получены ровно противоположные результаты.


10. Общее заключение о соответствии выполненной работы требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям

В целом, результаты исследований и полученные выводы доказывают, что Кривенко Т.В. выполнена актуальная научно-исследовательская работа по решению задачи развития математических моделей и методов оценки надежности автономных систем генерации на основе возобновляемых источников энергии, имеющей важное прикладное значение для развития, проектирования и эксплуатации электроэнергетических систем и систем электроснабжения.

Диссертация в достаточной мере является законченной научно-квалификационной работой, выполнена автором единолично, имеет научную новизну и практическую значимость. Автореферат соответствует содержанию диссертации. Основные результаты диссертации достаточно полно отражены в 12 научных работах автора.

Таким образом, диссертационная работа Кривенко Татьяны Витальевны «Развитие моделей и методов оценки надежности автономных систем генерации, использующих возобновляемые источники энергии» по уровню, объему и значимости соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор Кривенко Татьяна Витальевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

Официальный оппонент,
доктор технических наук, профессор отделения электроэнергетики
и электротехники Инженерной школы энергетики
Национального исследовательского Томского политехнического университета
Россия, 634050, г. Томск, проспект Ленина, дом 30,
ФГАОУ ВО НИ ТПУ, ИШЭ, ОЭЭ
тел. (382-2) 701-777, доп.1942,
e-mail: serob99@mail.ru


Сергей Геннадьевич Обухов

03.10.18 г.

Подпись С.Г.Обухова заверяю:
Ученый секретарь ТПУ




О.А.Ананьева