

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертационную работу **Хасанзода Насрулло** на тему «Оптимизация режимов электропотребления в интеллектуальных сетях с двусторонним потоком энергии методами искусственного интеллекта», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы

### **1. Актуальность темы исследования и ее связь с запросами практики**

В настоящее время основная тенденция в электроэнергетике состоит в повышении роли информационных и компьютерных технологий для создания систем поддержки принятия решений, которые в свою очередь, используют те или иные методы искусственного интеллекта и позволяют выполнить интеллектуализацию режимных и производственных задач. Наряду с этим, усложняются взаимосвязи между источниками генерации и электропотребителями за счет некоторой непредсказуемостью альтернативных источников энергии, а также необходимостью подключения дополнительных объектов в виде накопителей энергии.

При этом наибольший интерес представляют новые методы искусственного интеллекта и информационных технологий, основанные на теории нечетких множеств, нечеткой логике, генетических алгоритмах и методах роевого интеллекта, позволяющие оптимизировать электрические режимы и минимизировать материально-финансовые затраты, что позволяет повысить энергоэффективность системы и ее отдельных элементов.

Таким образом, можно утверждать, что исследование и оптимизация режимов электропотребления в интеллектуальных электрических сетях с учетом подключения альтернативных источников энергии, их распределенности генерации и возможности создания двусторонних потоков энергии требует более высокого уровня интеллектуализации процессов управления в электроэнергетике.

Диссертационная работа Н. Хасанзода посвящена исследованию и решению научных задач, связанных с оптимизацией состава генерирующих источников, включая альтернативные и возобновляемые источники энергии с возможностью ее аккумуляции.

Исходя из приведенных научных задач, актуальность темы диссертационной работы Н. Хасанзода сомнений не вызывает.

## **2. Научная новизна, результатов и выводов, сформулированных в диссертации**

Научная новизна основных положений и результатов работы заключаются в следующем:

2.1. Предложена новая концептуальная модель для генерирующего потребителя при многоуровневой организации интеллектуальных сетей, позволяющая установить взаимосвязь между различными объектами.

2.2. Разработана новая математическая модель для генерирующих потребителей с учетом централизованного источника электроснабжения, альтернативных источников и накопителя энергии на основе решения системы нелинейных алгебраических уравнений.

2.3. Разработан метод расстановки приоритетов и параметров правил оптимального управления генерирующим потребителем, отличающийся адаптацией алгоритма при изменении внешних условий с учетом взаимодействия между собой генерирующих потребителей.

2.4. Предложена вероятностная оценка максимальной мощности ветроэнергетических установок на основе статистической оценки характеристик скорости ветрового потока на заданном интервале времени.

## **3. Практическая значимость работы**

3.1. Предложена математическая модель оптимального распределения энергетических ресурсов для генерирующих потребителей островов Русский и Попова за каждый час на суточном интервале времени с учетом энергии ветроустановок и возможностью ее аккумуляции.

3.2. Разработаны алгоритмы и программная реализация метода оптимизации электропотребления в системе Smart Grid при двустороннем потоке энергии, а также путем выбора приоритетности правил на основе алгоритма роевого интеллекта, что подтверждено свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ.

3.3. Предложенные модели и методы излагаются в курсах «Интеллектуальные электрические сети», «Малая распределенная энергетика», «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» Новосибирского государственного технического университета и Таджикского технического университета имени акад. М. С. Осими.

## **4. Оценка внутреннего единства и направленности полученных результатов на решение поставленных задач**

Для достижения поставленных целей, автором решен сложный комплекс взаимосвязанных задач. Диссертационная работа состоит из введения, пяти

глав, заключения, списка литературы из 110 наименований. Общий объем работы составляет 187 страниц.

**Во введении** обоснована актуальность работы, изложены цели и задачи диссертационной работы, методы решения поставленных задач.

**В первой главе** диссертации рассмотрено состояние проблемы использования альтернативных источников энергии в разработке общей концепции и технологии создания интеллектуальных сетей (Smart Grid), а также связанной с этими процессами инфраструктуры. В настоящее время во всех странах возрастает потребление электроэнергии, причем электропотребителей ожидает возможность выбора поставщиков в условиях конкурентного энергетического рынка, улучшения показателей надежности электроснабжения и снижения тарифов на электроэнергию.

**Вторая глава** посвящена оптимальному использованию альтернативных источников энергии в прибрежной зоне Дальнего Востока. Ключевым моментом при этом является использование собственных ветроэнергетических ресурсов, которые достаточно велики в прибрежной зоне Дальнего Востока. Цель исследования состоит в разработке новой математической модели оптимального энергобаланса и электропотребления при участии генерирующих потребителей и альтернативных источников энергии в виде ветроэнергетических ресурсов как интеллектуальной системы с двусторонним потоком энергии с учетом разных ценовых показателей. Предложена система выбора приоритетности источников генерации, обеспечивающая минимизацию материально-финансовых затрат электропотребителя.

**В третьей главе** решена задача оптимизации электропотребления генерирующих потребителей (ГП) на основе алгоритмов роевого интеллекта. ГП имеет собственные источники энергии, как правило, основанные на альтернативной энергетике, может обмениваться с энергосистемой или соседними ГП. При этом из-за высокой степени неопределенности, вырабатываемой мощности, присущей альтернативным источникам энергии, требуется в реальном времени принимать решения по накоплению и обмену электроэнергией. Показано применение роевых алгоритмов для построения оптимальной базы правил для принятия решений.

**В четвертой главе** исследованы статистические характеристики ветрового потока и параметры альтернативных источников энергии, которые могут быть представлены в виде лингвистических переменных, то есть слов или текстов вербальной модели. Скорость ветрового потока может быть представлена общепринятой в мире шкалой Бофорта, которая позволяет дать интервальную оценку любой скорости ветра в виде лингвистических переменных, которые, в свою очередь, могут быть формализованы с помощью

теории нечетких множеств. При этом управление ветроэнергетической установки (ВЭУ) осуществляется на основе нечетких продукционных правил.

Наряду с этим, разработана новая вероятностная модель генерирующей способности ВЭУ с учетом флуктуации скорости ветрового потока относительно математического ожидания на заданном интервале времени. Учитывая кубическую зависимость между скоростью ветра и вырабатываемой мощностью ВЭУ, через начальные и центральные моменты второго и третьего порядков случайной величины скорости ветра, представлено новое аналитическое выражения генерируемой мощности.

**В пятой главе** рассмотрена возможность оптимизации электропотребления в задачах обучения с подкреплением, которая весьма актуальна в решении задач управления с отложенной выгодой или потерями, когда результат каждого решения зависит от будущих неизвестных заранее реакций внешней среды и дальнейших решений. Изложены основные положения обучения с подкреплением применительно к оптимальному управлению генерирующим потребителем (Q-обучения). Рассмотрены принципы этого обучения и его применение. Показано, что Q-обучение является одним из передовых направлений исследований в области искусственного интеллекта.

Анализ поставленных задач, методов и алгоритмов их решения, свидетельствует о единстве структуры и содержания работы.

## **5. Соответствие работы избранной специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы**

Исходя из анализа тематики выполненных исследований, поставленных и решенных автором задач, касающихся разработки оптимизационных моделей и методов для интеллектуализации электрических сетей, включая альтернативные и возобновляемые источники, с возможностью обеспечения двусторонних потоков энергии, а также ее аккумуляирования и по своему содержанию соответствует п.6, п.8 и п.13 паспорта научной специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

## **6. Степень достоверности результатов и обоснованности выводов исследования**

Достоверность и обоснованность выводов диссертационной работы подтверждаются использованием теоретических положений, опирающихся на классические труды в области теоретической электротехники, интеллектуальных информационных технологий и методов искусственного интеллекта, а также адекватностью используемых моделей и методов

компьютерного моделирования, удовлетворительным совпадением прогнозных результатов фактическим данным.

### **7. Апробация работы и подтверждение опубликования ее основных положений и результатов**

Основные материалы и результаты исследований работы докладывались и обсуждались на всероссийских и международных конференциях. По теме диссертации опубликовано 17 печатных работ, в том числе 5 работ в рецензируемых изданиях из перечня, рекомендованных ВАК Российской Федерации, 1 работа, индексированная в наукометрической базе Web of Science, 8 работ в прочих изданиях. Получены 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Автореферат диссертации и публикации полностью отражают содержание и научные результаты, полученные автором в диссертационной работе.

### **8. Основные замечания по работе**

По диссертационной работе Н. Хасанзода можно сделать следующие замечания:

8.1. Хорошо сделано, что каждая глава диссертации начинается с краткого обзора содержания главы и завершается выводами. Но почему-то для первой главы такое введение пропущено.

8.2. На странице 15, фраза «Основные атрибуты концепции Smart Grid национальной лабораторией энергетических технологий Министерства энергетики США, Европейской комиссией Евросоюза и по мнению авторов, определяются...» – непонятно, кто здесь подразумевается под авторами?

8.3. Вторая глава названа «Оптимизация использования энергетических ресурсов в прибрежной зоне Дальнего Востока», но рассмотрены только острова Русский и Попова. Следовало или уточнить название, или дать сопоставление характеристик двух островов с прибрежной зоной по энергопотреблению и потенциалу генерации энергии ветра.

8.4. Странно, что приведены данные по скорости ветра для островов Русский и Попова в таблице 2.2, но на рисунке 2.2 данные взяты из другого источника, причем на рисунке скорости ветра заметно выше, чем в таблице.

8.5. На рисунке 3.3 (страница 102) не хватает графика для лучших результатов градиентного спуска (зеленой линии).

8.6. В выражениях 4.13, 4.27, 4.28 математическое ожидание случайной величины обозначено линией над символом, но далее оно обозначается как оператор  $M[\ ]$ , а затем в выражении 4.17 как оператор  $M()$ .

8.7. В пятой главе рассмотрена возможность применение Q-обучения с подкреплением, описаны некоторые интересные вещи и наброски идей, однако результатов пока недостаточно.

8.8. Автор, рассматривая двусторонние потоки энергии с учетом альтернативных источников, учитывает только источники энергии ветрового потока. Для более системного исследования ему следовало учесть также солнечную энергию.

8.9. В работе имеются отдельные стилистические погрешности и неточности.

## 9. Общее заключение о соответствии диссертационной работы требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям

В целом результаты научных исследований и выводы, полученные Н. Хасанзода, свидетельствуют о том, что соискателем выполнена достаточно актуальная и современная работа, направленная на решение важной практической задачи в электроэнергетике, а именно оптимизация режимов электропотребления в электрических сетях с двусторонним потоком энергии. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой и имеет существенное значение для улучшения технических и экономических показателей электроэнергетических систем.

Диссертационная работа вполне отвечает требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842. Её автор Хасанзода Насрулло, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

Официальный оппонент

**Сальников Василий Герасимович**

доктор технических наук, профессор  
 профессор кафедры «Электроэнергетических систем  
 и электротехники», ФГБОУ ВО «Сибирский  
 государственный университет водных  
 ресурсов», г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 3  
 тел: +7(913) 701-96-39, E-mail: nsawt\_ese@mail.ru

Отзыв получен 11.03.2019г.  
 С.А. / Сальников В.А. /

С отзывом ознакомлен 11.03.2019г.  
 / Хасанзода Н. /

Подпись Сальникова В.Г. заверяю  
 документовед Гаврилова Е.Ю.