

УТВЕРЖДАЮ

Ректор ФГБОУ ВО «Иркутский  
национальный исследовательский  
технический университет»



д.т.н., доцент, Корняков Михаил  
Викторович 2019 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации ФГБОУ ВО «Иркутский национальный  
исследовательский технический университет» на диссертацию

Артемьева Андрея Юрьевича

на тему «Совершенствование методологии оценки решений по вводу  
ветроэнергетических мощностей на основе системного подхода»,  
представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук  
по специальности 05.14.01 – «Энергетические системы и комплексы»

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном  
образовательном учреждении высшего образования «Братский  
государственный университет».

### **1. Актуальность исследований. Объект и предмет исследований.**

Суммарная установленная мощность ветроэлектростанций (ВЭС),  
входящих в ЕЭС России, на конец 2018 года составила 184 МВт.  
Перспективы развития ветроэнергетики в России ориентированы на  
конкурсный отбор наиболее эффективных проектов в рамках договоров о  
предоставлении мощности. Предполагается, что в период до 2023 г. в России  
будет введено более 2 ГВт ветроэнергетических мощностей: в 2019-м году –

400 МВт, в 2020-м – 640 МВт, в 2021-м – 491 МВт, 2022-м году – 530 МВт. Единичная установленная мощность ВЭС составит от 16 до 200 МВт.

От успешности решения задач выбора района и площадки размещения ВЭС зависит дальнейшая экономическая эффективность проекта, а также ее воздействия на окружающую среду. В условиях современных тенденциях повышения требований к охране окружающей среды, повышению активности природоохранных и общественных организаций целесообразен учет всех влияющих на размещение критериев.

При выборе площадок размещения большое значение имеет учет рельефа местности, который вносит существенное влияние на скорость ветра. Аэродинамическое моделирование скорости ветра в условиях сложного рельефа представляет ценный инструмент для предварительного выявления наиболее перспективных площадок для более детальных исследований на местности.

В связи с отмеченным, диссертационная работа, посвященная развитию методологии оценки решений по вводу ветроэнергетических мощностей на основе методов многокритериального анализа и аэродинамического моделирования, является актуальной.

Объектом исследования является оценка эффективности ввода ветроэнергетических мощностей.

Предметом исследования являются методы многокритериального анализа и аэродинамического моделирования при оценке решений по вводу ветроэнергетических мощностей.

## **2. Цель и задачи исследований.**

Цель исследования – совершенствование методологии оценки решений по вводу ветроэнергетических мощностей на основе методов многокритериального анализа и аэродинамического моделирования.

Для достижения цели поставлены и решены следующие задачи:

1. Анализ существующего методического обеспечения для принятия решений по вводу ветроэнергетических мощностей.

2. Развитие методики принятия решений по выбору районов и площадок размещения ВЭС на основе методов многокритериального анализа с возможностью учета неопределенности информации.

3. Совершенствование методики оценки ветроэнергетического потенциала района на основе аэродинамического моделирования.

4. Интеграция разработанных методик в виде системы поддержки принятия решений при вводе ветроэнергетических мощностей.

5. Оценка качества решений, принимаемых при вводе ветроэнергетических мощностей.

### **3. Основные научные результаты:**

1. Усовершенствована схема проведения исследований применения ветроэнергетических установок (ВЭУ), отличающаяся формализованным подходом к учёту неэкономических факторов, использованием статистически необработанных метеоданных, данных геоинформационных систем для аэродинамического моделирования, данных о ВЭУ и потребителе.

2. Разработана методика поддержки принятия решений по выбору районов и площадок размещения ВЭС на основе методов многокритериального анализа MAUT ((Multi-attribute utility theory) и SMART (Simple Multi-Attribute Rating Technique). Применение методики позволяет более обоснованно подойти к анализу районов, поскольку в полученных многокритериальных оценках содержатся факторы, которые ранее не учитывались или учитывались неформализованно. Использование метода SMART позволяет снизить загрузку лица, принимающего решения (ЛПР), при анализе субкритериев.

3. Усовершенствована методика многокритериального выбора альтернатив для условий неопределенности ЛПР в отношении критериальных оценок. Анализ с помощью данной методики позволяет выявить устойчивые к изменениям предпочтений ЛПР альтернативы, которые следует рассматривать как наиболее перспективные для дальнейших

исследований, а также оценить влияние отклонений оценок ЛПР и оценок альтернативы по критерию на результаты анализа.

4. Разработана методика определения площадок с высоким ветроэнергетическим потенциалом с двумя уровнями анализа на основе методов аэродинамического моделирования.

Применение данной методики позволяет существенно повысить точность технико-экономического анализа за счёт корректировки данных о скорости ветра с учетом влияния рельефа местности и выявить наиболее перспективные площадки, а также локальные зоны энергетических затишней.

5. Разработаны модули анализа ветроэнергетического потенциала и многокритериального анализа альтернатив в программе для ЭВМ «Wind-MCA».

6. Проведено исследование качества принимаемых решений с использованием разработанных методик на примере северных улусов республики Саха (Якутия) и района п. Аян Хабаровского края. Полученные решения являются более обоснованными, так как отвечают большему числу целей и требований.

**4. Значимость результатов исследования для науки** заключается в развитии методологии оценки решений по вводу ветроэнергетических мощностей на основе системного подхода.

Научная новизна основных результатов, полученных автором, состоит в следующем:

1. Усовершенствованный и реализованный в схемном решении подход к проведению оценки эффективности применения ВЭС с использованием статистически необработанных данных метеостанций, учетом факторов воздействия на окружающую среду, влияния рельефа местности.

2. Усовершенствованная методика многокритериального выбора районов и площадок для размещения ВЭС на основе методов многокритериальной теории полезности MAUT и методов группы SMART. Методика отличается: возможностью учёта неэкономических факторов

(экологических, социальных и других) при выборе района и площадки для размещения ВЭС; использованием двух методов для возможности учета большого числа критериев; возможностью учета неопределенности условий развития района размещения ВЭС.

3. Методика оценки площадок для размещения ВЭС на основе методов аэродинамического моделирования, отличающаяся: наличием двух уровней детализации оценки решения по выбору площадки; возможностью интегрирования результатов расчёта в многокритериальную оценку площадок для размещения ВЭС.

**5. Значимость результатов исследования для производства** заключается в совершенствовании методологии оценки решений по вводу ветроэнергетических мощностей, что позволяет провести анализ районов и площадок размещения ВЭС с позиции многих критериев. Разработанная методика учета влияния рельефа местности на скорость ветра позволяет также уточнить экономические характеристики проекта ввода ВЭС как на предварительных, так и на последующих стадиях исследования. Разработанные алгоритмы, методики и программа для ЭВМ «Wind MCA» могут быть использованы в проектных и строительных организациях, компаниях энергетического профиля при решении задач выбора районов и площадок для размещения ВЭС, уточнении параметров проектов ввода ВЭС.

**6. Практическая значимость результатов работы** заключается в следующем:

- разработанные методики поддержки принятия решений по выбору районов и площадок размещения ВЭС на основе методов многокритериального анализа MAUT и SMART с учётом неопределённости ЛПР позволили провести многокритериальный анализ районов размещения ВЭС в республике Саха (Якутия) и выбор площадок размещения ВЭС в районе п. Аян;

- разработанная методика определения площадок с высоким ветроэнергетическим потенциалом на основе методов аэродинамического

моделирования позволила существенно скорректировать результаты расчёта ветроэнергетического потенциала и провести анализ перспективных площадок для размещения ВЭС в районе п. Аян с непосредственным учётом рельефа местности и розы ветров;

- разработка модулей анализа ветроэнергетического потенциала и многокритериального анализа альтернатив в программе для ЭВМ «Wind-MCA» позволяют существенно сократить время расчётов, использовать многолетние статистически необработанные данные метеостанций для повышения точности анализа.

## **7. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций изложенных в рецензируемой диссертационной работе, подтверждается структурой и содержанием работы, апробированными методами исследования и программным обеспечением, внедрением результатов диссертации при решении проектных задач в организациях ООО «БрИИз», ООО «СЭЛТЕХ», ООО «Братский Бензин», ООО «Сибирская пила». Материалы диссертации используются в учебном процессе в ФГБОУ ВО «Братский государственный университет» на кафедре Промышленной теплоэнергетики, при решении проектных задач.

Таким образом, полученные автором научные выводы теоретически обоснованы и подтверждены практикой.

## **8. Апробация работы.**

Результаты исследования докладывались и обсуждались на международных научно-технических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых с 2011 – 2018 года. По теме диссертации опубликовано 23 научные статьи, из них 5 – в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикации основных результатов диссертаций. Получено свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ.

В 2013 году работа получила грантовую поддержку на конкурсе «Участник молодёжного научно-инновационного конкурса» («УМНИК»), г. Иркутск, «Программный комплекс системного анализа эффективности эксплуатации ветровых и солнечных установок».

### **9. Соответствие полученных результатов паспорту специальности.**

Полученные научные результаты соответствуют следующим пунктам паспорта специальности 05.14.01 – «Энергетические системы и комплексы».

1. Разработка научных основ исследования общих свойств, создания и принципов функционирования энергетических систем и комплексов, фундаментальные и прикладные системные исследования проблем развития энергетики городов, регионов и государства, топливно-энергетического комплекса страны.

2. Исследование и разработка нетрадиционных источников энергии и новых технологий преобразования энергии в энергетических системах и комплексах.

3. Использование на этапе проектирования и в период эксплуатации методов математического моделирования с целью исследования и оптимизации структуры и параметров энергетических систем и комплексов и происходящих в системах энергетических процессов.

4. Разработка научных подходов, методов, алгоритмов, программ и технологий по снижению вредного воздействия энергетических систем и комплексов на окружающую среду.

6. Исследование влияния технических решений, принимаемых при создании и эксплуатации энергетических систем и комплексов, на их финансово-экономические и инвестиционные показатели, региональную экономику и экономику природопользования

### **10. Замечания по диссертации и автореферату.**

1. Для более информативного и понятного восприятия Методики определения локальных зон высокого ветроэнергетического потенциала (рис.

2.8, стр. 81) необходимо более подробно проработать содержание представленной схемы.

2. При проведении многокритериальной оценки не сформулированы требования к компетенциям экспертов.

3. При проведении многокритериального анализа (глава 3) пунктов размещения ВЭС, возможно, следовало бы добавить анализ рисков с различными исходами событий.

4. В работе не рассматривается учёт работы ВЭС совместно с дизель-генераторами и аккумуляторными батареями.

5. При выборе площадки размещения ВЭС после проведения аэродинамического моделирования и многокритериального анализа в работе не раскрывается учёт размещения разного количества ВЭУ.

6. В тексте диссертации имеются немногочисленные грамматические ошибки и опечатки.

Указанные замечания не снижают теоретической и практической значимости основных научных положений, выводов и рекомендаций, представленных в диссертационной работе.

## **11. Заключение.**

Научные и практические результаты диссертационного исследования представляют достаточный вклад в совершенствование методологии оценки решений по вводу ветроэнергетических мощностей.

Диссертационная работа Артемьева Андрея Юрьевича представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему, обладает научной новизной и представляет собой законченное научное исследование.

Диссертационная работа «Совершенствование методологии оценки решений по вводу ветроэнергетических мощностей на основе системного подхода» соответствует требованиям «Положения о порядке присвоения учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842, а её автор Артемьев Андрей Юрьевич заслуживает

присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности  
05.14.01 – «Энергетические системы и комплексы».

Заключение принято на расширенном заседании кафедр  
«Электрических станций, сетей и систем» и «Электроснабжения и  
электротехники» ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский  
университет»

Присутствовало на расширенном заседании 23 человека. Результаты  
голосования: «за» – 23 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел.,  
протокол № 2 от «02» сентября 2019 г.

Директор института энергетики,

и.о. заведующего кафедрой

электрических станций, сетей и

систем ФГБОУ ВО «Иркутский

национальный исследовательский

университет», кандидат

технических наук, доцент

664074, г. Иркутск,

ул. Лермонтова, 83

тел/факс 8 (3952)405-100, 8 (3952) 405-125

e-mail: info@istu.edu

Fedchishin@istu.edu

Федчишин Вадим Валентинович

