

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.357.03,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 21.11.2024 № 18

О присуждении Корниловой Марии Игоревне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Математическое моделирование и численное исследование атмосферного пограничного слоя области ветропарков» по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки) принята к защите 20.09.2024 года, протокол заседания № 10, диссертационным советом 24.2.357.03, созданным на базе ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, д. 40, приказ Минобрнауки России № 714/нк от 02.11.2012 (приказ № 561/нк от 03.06.2021).

Соискатель **Корнилова Мария Игоревна**, 05 января 1995 года рождения, в 2017 году окончила ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет» по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», в 2019 г. окончила ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет» по направлению подготовки 09.04.04 «Программная инженерия». В 2023 году окончила аспирантуру ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет» по направлению подготовки 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника». В настоящее время работает в Лаборатории междисциплинарных проблем энергетики ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет» Минобрнауки России в должности младшего научного сотрудника.

Диссертация выполнена в ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации на кафедре «Тепловая и топливная энергетика».

Научный руководитель — доктор технических наук, профессор **Ковальногов Владислав Николаевич**, заведующий кафедрой «Тепловая и топливная энергетика» ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет».

Официальные оппоненты:

Кондратов Дмитрий Вячеславович, доктор физико-математических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.», заведующий кафедрой «Информационная безопасность автоматизированных систем»;

Цынаева Анна Александровна, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет», доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция»,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» (г. Томск), в своем положительном отзыве, подписанном к.ф.-м.н., доцентом Игорем Валерьевичем Мирошниченко, старшим научным сотрудником регионального научно-образовательного математического центра, доцентом кафедры теоретической механики ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», и утвержденном д.ф.-м.н., профессором Александром Борисовичем Ворожцовым, и.о. проректора по научной и инновационной деятельности ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», указала, что по своим целям и задачам, содержанию и методам исследования диссертация Корниловой М.И. соответствует паспорту специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки)

по направлениям исследований: «Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий» (п. 2 паспорта специальности); «Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента» (п. 3 паспорта специальности); «Комплексные исследования научных и технических проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента» (п. 8 паспорта специальности). Учитывая актуальность темы диссертации, новизну и практическое значение полученных результатов, наличие патентов на полезную модель и изобретение, актов о внедрении результатов, диссертация «Математическое моделирование и численное исследование атмосферного пограничного слоя области ветропарков» удовлетворяет требованиям пп. 9-11, 13, 14 действующего Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук, а ее автор, Корнилова Мария Игоревна, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Диссертация, автореферат и отзыв на диссертацию Корниловой М.И. обсуждены на совместном заседании регионального научно-образовательного математического центра и кафедры теоретической механики механико-математического факультета Томского государственного университета 21 октября 2024 года, протокол № 3.

Соискатель имеет 44 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 36 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 10 работ (5 статей – в рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России по специальности 1.2.2, 5 статей – в зарубежных журналах, индексируемых в наукометрических базах Web of Science и Scopus, из них 2 – в журналах, относящихся к квартилю Q1), получен 1 патент на полезную модель, 1 патент на изобретение, 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Содержание публикаций автора отражает научные положения и прикладные результаты

диссертационного исследования. Объем основных работ, опубликованных по теме диссертации, – 11,6 п.л., с авторским вкладом от 30 до 90%. Работы посвящены исследованию атмосферного пограничного слоя области ветропарков на основе методов математического моделирования и численного анализа с разработкой рекомендаций по повышению эффективности ветротурбин при производстве энергии. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. **Kornilova, M.** Modeling and Investigation of the Effect of a Wind Turbine on the Atmospheric Layer / V. Kovalnogov, R. Fedorov, A. Chukalin, E. Tsvetova, M. Kornilova // *Energies*. – 2022. – Vol. 15, № 21. – doi: 10.3390/en15218196

2. **Kornilova, M.** Application of Intelligent and Digital Technologies to the Tasks of Wind Energy / M. Kornilova, V. Kovalnogov, R. Fedorov, A. Chukalin, T. Karpukhina, A. Petrov // *Energies*. – 2023. – Vol. 16, № 1. – doi: 10.3390/en16010481

3. **Корнилова, М. И.** Исследование атмосферного пограничного слоя в области ветропарка для повышения эффективности при производстве энергии / М. И. Корнилова, В. Н. Ковальногов, Д. С. Степанов, Т. В. Карпухина, Д. А. Демидов // *Автоматизация процессов управления*. – 2024. – № 2 (76). – С. 107–116. – doi: 10.35752/1991-2927_2024_2_76_107

4. **Корнилова, М. И.** Численное исследование атмосферного пограничного слоя и аэродинамических следов в области ветропарка / М. И. Корнилова, В. Н. Ковальногов, Р. В. Федоров, Ю. А. Хахалев // *Современные наукоемкие технологии*. – 2024. – № 5. – С. 50–56. – doi: 10.17513/snt.40004

5. **Корнилова, М. И.** Математическое моделирование и численное исследование аэродинамического следа за ветрогенератором / М. И. Корнилова, В. Н. Ковальногов, Ю. А. Хахалев, А. В. Чукалин, Е. В. Цветова // *Теплоэнергетика*. – 2023. – № 12. – С. 114–125. – doi: 10.56304/S0040363623120068

6. **Корнилова, М. И.** Вихреразрешающее моделирование турбулентности в атмосферном пограничном слое в зоне ветропарка / Р. В. Федоров, М. И. Корнилова, Л. В. Хахалева, А. В. Чукалин // *Автоматизация процессов управления*. – 2023. – № 2 (72). – С. 53–62. – doi: 10.35752/1991-

7. **Kornilova, M. I.** Zeroing Neural Network for Pseudoinversion of an Arbitrary Time-Varying Matrix Based on Singular Value Decomposition / M. I. Kornilova, V. N. Kovalnogov, R. V. Fedorov, M. R. Zamaleev, V. N. Katsikis, S. D. Mourtas, T. E. Simos // *Mathematical Methods in the Applied Sciences*. – 2022. – № 10 (8). – 12 p. – doi: 10.3390/math10081208

На диссертацию и автореферат поступило 7 отзывов:

из ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» (г. Казань), составленный д.т.н., профессором, профессором кафедры «Инженерная экология и безопасность труда», заслуженным деятелем науки РТ **А.Г. Лаптевым**; из Омского филиала Института математики им. С.Л. Соболева Сибирского отделения РАН (г. Омск), составленный д.т.н. **А.В. Паничкиным**; из ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» (г. Саратов), составленный д.ф.-м.н., доцентом, заведующим кафедрой математического и компьютерного моделирования **Ю.А. Блинковым**; из ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова» (г. Чебоксары), составленный к.т.н., доцентом, заведующим кафедрой теплоэнергетических установок **А.В. Серебрянниковым**; из ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (г. Томск), составленный д.т.н., профессором, профессором научно-образовательного центра И.Н. Бутакова **С.В. Сыродоем**; из ФГБУН Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН (г. Новосибирск), составленный д.ф.-м.н., доцентом, ведущим научным сотрудником **С.Н. Яковенко**; из ФГБУН Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН (г. Новосибирск), составленный к.т.н., старшим научным сотрудником лаборатории моделирования **И.К. Кабардиным**;

Все отзывы положительные. В отзывах отмечается актуальность работы, новизна полученных результатов и их важность для науки и практики.

Основные замечания:

Не ясна причина выбора неструктурированной сетки для тестовых

расчетов одиночной ветротурбины, в автореферате отсутствует информация о величине базового размера сетки; не поясняется выбор подхода, основанного на осреднении по Рейнольдсу, стоило бы привести характерные значения числа Рейнольдса; в автореферате не приведены граничные условия; следовало бы подробнее описать настройку актуаторного представления ветротурбин; отсутствует исследование технических характеристик ветротурбин, их влияние на скорость восстановления аэродинамических следов; не совсем ясно, как сформирован план численных экспериментов; нет данных о влиянии на атмосферный пограничный слой устройства для нагрева лопастей; не рассматривались прочностные характеристики разработанной лопасти; неясно, в какой точке приведены данные для интенсивности турбулентности и дефицита скорости, и хватает ли этих характеристик для понимания аэродинамики пограничного слоя атмосферы области ветропарка.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается следующим. Областью исследований **официального оппонента** д.ф.-м.н., доцента **Кондратова Д.В.**, является применение методов математического моделирования для решения задач прикладной механики жидкости и газа. Кондратовым Д.В. по тематике диссертации за последние 5 лет опубликовано 15 научных работ. Областью интересов **официального оппонента** к.т.н., доцента **Цынаевой А.А.** является численное исследование теплообмена с разработкой рекомендаций его интенсификации. По тематике диссертации за последние 5 лет Цынаевой А.А. опубликовано 10 научных работ. **Ведущая организация: ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет»**, г. Томск, проводит моделирование и численные исследования в области естественной и смешанной конвекции, межмолекулярных взаимодействий, теплопереноса, горения, в частности, с применением конечно-разностного подхода. За последние 5 лет сотрудниками организации Мирошниченко И.В., Шереметом М.А., Старченко А.В., Архиповым В.А., Гибановым Н.С. по тематике, близкой к диссертационному исследованию, опубликовано 15 работ.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана методика численного решения системы дифференциальных уравнений для моделирования турбулентных течений в атмосферном пограничном слое (АПС) ветропарка. Методика реализована в виде комплекса алгоритмов, ее применение позволяет сократить вычислительные затраты на процесс расчета турбулентного течения АПС области ветропарка и обеспечить требуемую точность и достоверность прогнозирования производительности ветропарка;

предложены алгоритмы численного исследования аэродинамики АПС области ветропарка. Алгоритмы являются основой взаимодействия модулей разработанного комплекса программ и позволяют обоснованно задавать начальные условия ветропарка и густоту расчетной сетки;

доказана возможность повышения эффективности ветропарка на основе экспериментальных исследований, проведенных с помощью разработанного комплекса программ;

введены новые понятия не вводились.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана результативность математического моделирования турбулентного переноса при взаимодействии атмосферного пограничного слоя с сетью ветротурбин различных конфигураций;

применительно к проблематике диссертации результативно использованы методы математического моделирования аэродинамических процессов, численные методы решения дифференциальных уравнений, теория подобия, теория турбулентности, тепломассообмена и газодинамики пограничного слоя, методы интеллектуального анализа данных;

изложены понятия, принципы, методы теории математического моделирования и численного исследования турбулентных течений, применяемые для исследования атмосферного пограничного слоя области ветропарков при производстве энергии;

раскрыты факторы, оказывающие влияние на дальность распространения аэродинамических следов ветротурбин, основные сложности моделирования турбулентных процессов в атмосферном пограничном слое области ветропарков;

изучены классификация моделей турбулентного переноса при

исследовании атмосферного пограничного слоя области ветропарков, аналитические модели ближнего и дальнего следов ветротурбин, современные методы компьютерного моделирования и численные методы исследования аэродинамики ветропарков;

проведена модернизация метода математического моделирования турбулентного переноса в атмосферном пограничном слое при взаимодействии воздушного потока с сетью ветротурбин, характеризующаяся уточнением значений кинетической энергии турбулентности и скорости ее диссипации. Модифицированный метод позволяет с повышенной точностью и достоверностью прогнозировать производительность ветропарков.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены: алгоритмы численного исследования аэродинамики турбулентных следов ветротурбин, использующиеся для моделирования турбулентного переноса в атмосферном пограничном слое с учетом внешних воздействий. Результаты используются в Лаборатории междисциплинарных проблем энергетики ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет» и в ООО «Альтрен». Имеются акты о внедрении. Разработаны технические решения, направленные на повышение эффективности работы ветротурбин, решения защищены патентами на полезную модель и изобретение;

определены закономерности влияния ветропарков на состояние атмосферного пограничного слоя, позволяющие учесть взаимное влияние аэродинамических следов ветротурбин;

создан комплекс программ для проведения исследований тепловых и турбулентных процессов атмосферного пограничного слоя в окрестности ветротурбин и отработки технических решений для обеспечения эффективной работы ветропарков. Комплекс программ защищен свидетельством о государственной регистрации;

представлены результаты вычислительных экспериментов с применением разработанного программного комплекса, позволяющие учитывать взаимное влияние аэродинамических следов ветротурбин для обеспечения эффективной

работы ветропарков с учетом внешних воздействий.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ были получены воспроизводимые экспериментальные данные, обеспечивающие получение профилей скорости и интенсивности турбулентности по длине аэродинамического следа ветротурбин с учетом влияния внешних факторов. Достоверность полученных результатов подтверждается сравнительным анализом с результатами экспериментальных исследований других авторов, использованием проверенных методов математического моделирования и верификацией используемых алгоритмов;

теория построена на общепринятых положениях математического моделирования турбулентного переноса, на положениях численного метода расчета, теории дифференциальных уравнений, теории тепломассообмена и гидрогазодинамики;

идея базируется на анализе передовых отечественных и зарубежных разработок в области математического моделирования, относящихся к исследованию процессов турбулентного обмена, аэродинамики ветропарков, а также на анализе разработок в области повышения эффективности ветротурбин и совершенствования способов управления обменными процессами атмосферного пограничного слоя;

использованы результаты сравнения авторских данных с данными других исследователей, изложенными в известных публикациях, в том числе, зарубежных, из схожих предметных областей;

установлена непротиворечивость авторских результатов сведениям, представленным в информационных источниках по тематике диссертации и по смежным предметным областям;

использованы средства языков программирования Java, программные библиотеки среды моделирования STAR-CCM+, программный пакет MATLAB, программные библиотеки среды проектирования Компас-3D.

Личный вклад соискателя состоит в решении научных и практических задач на всех этапах проведения диссертационного исследования: в оценке текущего состояния решаемой задачи; в формулировке цели и задач исследования, обосновании путей их решения; в модификации метода и

разработке методики, позволяющих учитывать влияние ветротурбин на атмосферный пограничный слой; в создании алгоритмов и комплекса программ для исследования тепловых и турбулентных процессов атмосферного пограничного слоя области ветропарков и проведения вычислительных экспериментов; в обработке, обобщении и формулировании полученных результатов; в патентовании результатов интеллектуальной деятельности; в подготовке основных научных публикаций по теме диссертации и апробации результатов исследований. Основные научные результаты получены автором самостоятельно.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. В докладе не представлены имеющиеся в результатах количественных данные;
2. В докладе недостаточно подробно освещен вопрос достоверности результатов;
3. Не ясна цель разработки собственного программного обеспечения.

Соискатель Корнилова М.И. ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы, привела свою аргументацию: основные количественные данные представлены в результатах диссертационного исследования, а именно: повышение точности расчета на 7%; сокращение вычислительных затрат до 60%; выполнена количественная оценка скорости восстановления аэродинамического следа. Количественные данные также представлены на графиках, в результатах работы выполнено обобщение полученных численных результатов. Для подтверждения достоверности результатов соискатель представила данные сравнительного анализа модифицированного метода математического моделирования АПС области ветропарка с исходным методом, объяснила, как достигается достоверность. Соискатель пояснила цель разработки собственного программного обеспечения для решения поставленных задач, а также привела примеры работы собственного программного обеспечения.

На заседании 21 ноября 2024 г. диссертационный совет 24.2.357.03 принял решение: за решение научной задачи увеличения точности и достоверности математического моделирования турбулентности атмосферного пограничного

сложения области ветропарка путем уточнения значимых параметров турбулентного переноса, имеющей значение для энергетической отрасли, присудить Корниловой М.И. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 5 докторов наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки), участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: «за» - 18, «против» - 0, не проголосовавших - 0.

Председатель диссертационного совета

д.т.н., профессор

Щербаков Михаил Александрович

Ученый секретарь диссертационного совета

д.т.н., профессор

Косников Юрий Николаевич

Дата оформления заключения: 21 ноября 2024 г.