

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ДС.ТПУ.17,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,  
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ  
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК**

решение диссертационного совета от 23 декабря 2019 года № 2

О присуждении Разживину Игорю Андреевичу, гражданину Российской Федерации (РФ), ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Всережимное моделирование ветроэнергетической установки в электроэнергетической системе»

по специальности 05.14.02 - «Электрические станции и электроэнергетические системы»

принята к защите 18 октября 2019 г., протокол № 1, диссертационным советом ДС.ТПУ.17, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования (ФГАОУ ВО) «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Минобрнауки России, 634050, г. Томск, пр. Ленина 30, утвержденным приказом ректора Национального исследовательского Томского политехнического университета № 15895 от 06.12.2018 г.

**Соискатель Разживин Игорь Андреевич** 1989 года рождения, в 2015 году окончил магистратуру по направлению «Электроэнергетика и электротехника» ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Минобрнауки России,

в 2019 году соискатель окончил очную аспирантуру ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Минобрнауки России,

работает ассистентом Отделения электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики в ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Минобрнауки.

Диссертация выполнена в Отделении электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики в ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Министерство науки и высшего образования РФ.

**Научный руководитель Гусев Александр Сергеевич**, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное

образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», профессор отделения электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики;

**Дополнительно введенные члены диссертационного совета ДС.ТПУ.17:**

Ушаков Василий Яковлевич, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», профессор отделения электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики;

Глазырин Александр Савельевич, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», доцент отделения электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики;

**Официальные оппоненты:**

Воропай Николай Иванович – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, научный руководитель института;

Манусов Вадим Зиновьевич - доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», профессор кафедры систем электроснабжения предприятий;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Выбор официальных оппонентов и дополнительно введенных членов диссертационного совета обосновывается высокой профессиональной компетенцией в области электрических станций и электроэнергетических систем, достижениями и наличием публикаций в данной области науки и практики.

Соискатель имеет 20 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 18 работ (также один патент РФ на изобретение), из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 4 работы, 2 из которых в журналах индексируемых базами данных Scopus и Web of Science. Общий объём публикаций составляет 31 печатный лист с долей авторского участия соискателя не менее 60%. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Ufa R., Andreev, M., Ruban N., Suvorov A., Gusev A., Razzhivin I., Askarov A., Bay Y., Kievets A., Lozinova N., Suslova O. The hybrid model of VSC HVDC. // *Electrical Engineering*. - 2019. Vol. 1 <https://doi.org/10.1007/s00202-018-00752-y>

2. Razzhivin I., Bay J., Kievets A., Askarov A., Influence of mathematical model comprehensiveness on distance protection setting of transmission lines. // *Electrotehnica, Electronica, Automatica (EEA)*, 2019, vol. 67, no. 1, pp. 54-60, ISSN 1582-5175.

3. Ю.Д. Бай, А.В. Шмойлов, М.В. Андреев, А.А. Суворов, А.В. Киевец, И.А. Разживин. Алгоритм определения законов распределения вероятностей параметров режимов и электрических величин при повреждениях в электрических сетях энергосистем // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика*. — 2018. — Т. 18, № 4. — [С. 13-21]. DOI: 10.14529/power180402

4. Ю.Д. Бай, А.В. Шмойлов, М.В. Андреев, А.А. Суворов, А.В. Киевец, И.А. Разживин. Получение полных вероятностных характеристик параметров режимов задач электроэнергетики // *Вестник Воронежского государственного технического университета*. — 2018. — Т. 14, № 5. — [С. 64-74].

**На автореферат диссертации поступили отзывы:**

1) **Суслов Константин Витальевич**, кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет», Заведующий кафедрой электроснабжения и электротехники (с замечаниями);

2) **Лозина Наталья Георгиевна**, кандидат технических наук, доцент, Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский институт по передаче электроэнергии постоянным током высокого напряжения», Заместитель генерального директора-научный руководитель, заведующий НИО-1 (с замечаниями);

3) **Сальников Василий Герасимович**, доктор технических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет водного транспорта», профессор кафедры электроэнергетических систем и электротехники (с замечаниями);

4) **Троян Павел Ефимович**, Доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем

управления и радиоэлектроники», Заведующий кафедрой Физической электроники (с замечаниями);

5) **Батура Михаил Павлович**, доктор технических наук, профессор, Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», заведующий научно-исследовательской лабораторией (с замечаниями);

6) **Соснина Елена Николаевна**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», профессор кафедры «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника». **Крюков Евгений Валерьевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника» (с замечаниями);

7) **Вахгельт Анатолий Фроимович**, PhD, adjunct professor, Суинбурнский технологический университет, Саравак, Малайзия (с замечаниями);

Все отзывы положительные, замечания носят рекомендательный или уточняющий характер. Вопросы касаются возможности применения разработанного специализированного процессора (СГП) ветроэнергетической установки (ВЭУ) 4 типа (ветротурбина с синхронным генератором, возбуждаемым постоянными магнитами, присоединенным через вставку постоянного тока и трансформатор присоединения к узлу электрической сети) для моделирования ветроэлектростанций, обоснованию преимуществ ВЭУ 4 типа по сравнению с другими конструкциями, экономической эффективности разработанных средств, приведения схем автоматического управления углом поворота лопастей и вставки постоянного тока, объяснения приведенных осциллограмм. Также присутствуют замечания относительно четкости приведенных рисунков.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработаны** концепция всережимного моделирования в реальном времени и на неограниченном интервале ВЭУ 4 типа в электроэнергетических системах (ЭЭС), а также средства ее реализации, представляющие собой СГП ВЭУ 4 типа;

**предложен** комплексный подход к проблеме всережимного моделирования ВЭУ 4 типа в ЭЭС, представляющий, в широком смысле, гибридное моделирование. Предложенный подход позволяет разрабатывать, агрегировать и применять наиболее эффективные методы, способы и средства моделирования для успешного решения широкого спектра задач анализа режимов ЭЭС;



**доказана** актуальность полученных результатов для науки и практики и успешное решение рассматриваемой в диссертации проблемы на основе разработанных концепции и средств её реализации;

**введено** понятие специализированного гибридного процессора ветроэнергетической установки 4 типа (СГП ВЭУ 4 типа);

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**доказаны** причины существования проблемы достоверного всережимного моделирования ВЭУ 4 типа в ЭЭС, а также ее принципиальная неразрешимость в рамках существующих методов численного моделирования; обоснована и синтезирована математическая модель ветротурбины с учетом турбулентной и средней составляющих ветра, а также конструктивных параметров ветроколеса; сформированы в соответствии с комплексным подходом концепция непрерывного всережимного моделирования ВЭУ 4 типа в ЭЭС и принципы ее реализации;

**применительно к проблематике диссертации результативно** (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) реализованы метод непрерывного неявного методически точного интегрирования дифференциальных уравнений, современные достижения интегральной микроэлектроники, микропроцессорной техники и IT-технологий;

**изложены** положения концепции достоверного непрерывного всережимного моделирования в реальном времени ВЭУ 4 типа в ЭЭС;

**раскрыты** факторы, препятствующие полному и достоверному моделированию единого непрерывного спектра нормальных, аномальных, квазиустановившихся и переходных процессов в оборудовании ВЭУ 4 типа и ЭЭС в целом;

**изучены** необходимые требования к средствам моделирования ВЭУ 4 типа в ЭЭС, необходимые для получения достоверной информации при моделировании их работы в ЭЭС;

**проведена модернизация** всережимного моделирующего комплекса реального времени электроэнергетических систем путем внедрения разработанного СГП ВЭУ 4 типа;

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

**разработан и внедрен** СГП ВЭУ 4 типа, обеспечивающий достаточно полное и достоверное непрерывное воспроизведение в реальном времени единого спектра нормальных и аномальных квазиустановившихся и переходных процессов ВЭУ 4 типа в ЭЭС;

**определены** области и перспективы применения полученных результатов для надежного и эффективного анализа режимов ЭЭС с ВЭУ 4 типа, настройки систем автоматического управления углом поворота лопастей ветроколеса  $\beta$  и средств релейной защиты, противоаварийной автоматики;

**создан** специализированный гибридный процессор ВЭУ 4 типа, предназначенный для работы в составе всережимного моделирующего комплекса реального времени электроэнергетических систем;

**представлены** результаты тестовых и экспериментальных исследований, которые применительно к конкретным условиям, позволяют получить достаточно полную и достоверную информацию (о едином спектре нормальных, аномальных, квазиустановившихся и переходных процессов ВЭУ 4 типа в ЭЭС), необходимую для решения задач проектирования, исследования и эксплуатации ВЭУ 4 типа в ЭЭС;

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**для экспериментальных работ** соответствие свойств и возможностей разработанного специализированного гибридного процессора принципам функционирования ВЭУ 4 типа в ЭЭС, а также соответствие тестовых исследований результатам, полученным с помощью сертифицированных средств моделирования, и данным независимых источников;

**теория** разработанного специализированного гибридного процессора ВЭУ 4 типа основанная на комплексном подходе, подтверждена результатами тестовых и экспериментальных исследований;

**идея базируется** на результатах анализа специфики функционирования ВЭУ 4 типа в ЭЭС, а также всех аспектах решения проблемы всережимного моделирования ВЭУ 4 типа в ЭЭС и средств, необходимых для её решения;

**использованы** результаты сравнения свойств и возможностей разработанных средств всережимного моделирования ВЭУ 4 типа в ЭЭС в реальном времени и на неограниченном интервале с идентичной математической моделью сертифицированного программно-вычислительного комплекса реального времени;

**установлено** достаточно достоверное соответствие полученных результатов экспериментальных и тестовых исследований;

**использованы** результаты анализа технологий и исследований в области ветроэнергетики;

**Личный вклад соискателя состоит** в выявлении и обосновании проблемы всережимного моделирования ВЭУ 4 типа в ЭЭС и направления её решения, а также в разработке предложенной концепции, структуры и средств её реализации; создании экспериментального образца

специализированного гибридного процессора ВЭУ 4 типа, проведении комплекса экспериментальных исследований.

Диссертация является научно-квалификационной работой, содержит научные и практически важные результаты. Разработанные средства всережимного моделирования в реальном времени и на неограниченном интервале ВЭУ 4 типа в ЭЭС позволяют получить достаточно полную и достоверную информацию о едином спектре нормальных и аномальных квазиустановившихся и переходных процессов ВЭУ 4 типа в ЭЭС при всевозможных режимах ее работы, необходимую для решения различных задач исследования, проектирования и эксплуатации (соответствие требованию п. 8 абз. 2 Порядка присуждения ученых степеней в ТПУ приказ №93/од от 06.12.2018 г.).

На заседании 23 декабря 2019 года диссертационный совет принял решение присудить И.А. Разживину учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 6 человек (из них 5 докторов наук по научной специальности 05.14.02 - «Электрические станции и электроэнергетические системы»), участвовавших в заседании, из 3-х человек, входящих в состав совета, и 4-х человек дополнительно введенных в состав совета: за - 6, против - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель  
диссертационного совета  
ДС.ТПУ.17



 С.Г. Обухов

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
ДС.ТПУ.17

 А.В. Прохоров

23 декабря 2019г.

