

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе и
инновациям ФГАОУ ВО

«Национальный исследовательский
Томский политехнический
университет»



Степанов И.Б.

« 1 » 10 2019 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Национальный исследовательский Томский
политехнический университет»

Диссертация «**Всерезимное моделирование ветроэнергетической
установки в электроэнергетической системе**» выполнена в отделении
электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики
Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Национальный исследовательский Томский
политехнический университет» (ФГАОУ ВО НИ ТПУ).

В период подготовки диссертации соискатель Разживин Игорь
Андреевич обучался в очной аспирантуре и в настоящий момент работает в
должности ассистента в Отделении электроэнергетики и электротехники
Инженерной школы Энергетики Федерального государственного
автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет».
Срок окончания аспирантуры – 2019 год.

В 2015 г. окончил федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования «Национальный

исследовательский Томский политехнический университет» по направлению подготовки 140400 «Электроэнергетика и электротехника».

Диплом об окончании аспирантуры выдан Федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» в 2019 г.

Научный руководитель – Гусев Александр Сергеевич, доктор технических наук, профессор Отделения электроэнергетики и электротехники Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Во время обсуждения диссертационной работы были заданы следующие вопросы:

1. Представлены фрагменты моделирования ЭЭС полученные в ВМК РВ ЭЭС и RTDS, использовались ли другие комплексы?
2. В чем заключаются ограничения моделирования ЭЭС в RTDS, чем могут быть обусловлены различия в результатах моделирования в ВМК РВ ЭЭС и RTDS. Есть ли информация у производителей RTDS об ограничениях связанных с моделированием?
3. Представлена ВЭУ 4 типа. Чем отличаются ВЭУ других типов и сколько их?
4. При подключении ВЭУ к ЭЭС какие основные отличия от традиционных генераторов?
5. Разработанная математическая модель ВЭУ предназначена для решения каких задач?
6. Почему для моделирования в RTDS используется только небольшой размерности ЭЭС?
7. Каким образом отражена специфика аэродинамического преобразования ВЭУ?

8. Каким образом осуществляется система управления инвертором при работе ВЭУ в разных нагрузочных режимах?

9. На осциллограммах тока и напряжения при междуфазном и однофазном коротком замыкании, снятых на ВМК РВ ЭЭС и RTDS имеются отличия, поясните?

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Диссертационная работа Разживина Игоря Андреевича на тему «**Всерезимное моделирование ветроэнергетической установки в электроэнергетической системе**» является законченной научно-квалификационной работой.

1. Актуальность темы исследования обусловлена развитием возобновляемой электроэнергетики, преимущественно путем использования ветроэнергоустановок (ВЭУ). Для решения большинства задач исследования, проектирования и эксплуатации электроэнергетических систем (ЭЭС), в том числе ЭЭС с ВЭУ необходима полная и достоверная информация о едином непрерывном спектре нормальных и аномальных квазиустановившихся и переходных процессах в оборудовании и ЭЭС в целом. Ввиду недопустимости натуральных экспериментов в реальных ЭЭС, тем более аварийных, и невозможности из-за их сложности адекватного физического моделирования единственным путем получения всей необходимой информации становится преимущественно математическое моделирование. Однако получаемая в результате совокупная математическая модель любой реальной ЭЭС, в том числе с ВЭУ, даже с учетом частичного эквивалентирования, неизбежно содержит жесткую, нелинейную систему дифференциальных уравнений чрезвычайно большой, по математическим меркам, размерности, плохо обусловленную на ограничительных условиях применимости теории методов численного интегрирования и соответственно не подлежащую удовлетворительному решению. Актуальным является создание средств, обеспечивающих достоверное моделирование единого

непрерывного спектра нормальных и аномальных квазиустановившихся и переходных процессов в ЭЭС с ВЭУ.

2. Личное участие и вклад соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации. Все основные результаты работы, такие как разработка специализированного гибридного процессора ВЭУ 4 типа, проведение тестовых и экспериментальных исследований и анализ полученных данных, осуществлялись лично автором или при его непосредственном участии. В публикациях, содержащих указанные результаты, определяющая роль принадлежит автору диссертации.

3. Степень достоверности результатов проведенных исследований. Подтверждается использованием классических положений и законов теоретической электротехники, математики, теории дифференциального и интегрального исчисления, теории методов дискретизации для обыкновенных дифференциальных уравнений, метода непрерывного неявного методически точного интегрирования дифференциальных уравнений, теоретически обоснованных и апробированных независимыми исследованиями применяемых математических моделей.

4. Полнота изложения материалов диссертации в опубликованных работах.

Результаты исследования достаточно полно изложены в 18 печатных работах, включая 2 статьи в рецензируемых периодических изданиях из перечня ВАК, 2 публикаций в зарубежных журналах, индексируемых базами данных Web of Science и Scopus. Опубликовано свидетельство программы для ЭВМ, один патент РФ на изобретение.

Статьи в рецензируемых периодических изданиях по перечню ВАК РФ, в которых изложены основные положения:

1) 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

2) 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].

Патенты:

1. Патент на изобретение № 2 694 014 РФ, (51) МПК G06G 7/62 (2006.01) G06G 7/63 (2006.01). Устройство для моделирования передачи постоянного тока в энергетической системе // Заявка № 2018136514, 16.10.2018. Опубликовано: 08.07.2019 Бюл. № 19.

Статьи в журналах, индексируемых в Web of Science и Scopus:

2. 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>

3. 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.

Материалы конференций:

1. И. А. Разживин, А. О. Сулайманов, А. В. Хлебов; науч. рук. А. О. Сулайманов. Использование гибридного моделирования для задач интеграции возобновляемых источников энергии в электроэнергетические системы // Интеллектуальные энергосистемы: труды IV Международного молодёжного форума, 10-14 октября 2016 г., г. Томск / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) – 2016. – Т. 3. – С. 13-15.

2. А.О. Сулайманов., И.А. Разживин., А.В. Хлебов., В.А. Сулайманова. Использование моделей реального времени при построении систем поддержки принятия решений диспетчерским персоналом ЭЭС

//Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. Материалы Международного научного семинара им. Ю.Н. Руденко. г. Чолпон-Ата, 11-15 сентября 2017 г. С. 452-457

3. Razzhivin I., Sulaimanov A., Stavitsky S. Approach in the modeling of wind turbines for power system stability studies and evaluation of their impact on electric power systems. // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Vol. 141 : Smart Grids 2017 : The Fifth International Youth Forum, October 9-13, 2017, Tomsk, Russia : [proceedings]. – [01041, 5 p.].

4. Razzhivin, I.A., Ruban, N.U., Kievec, A.V., Askarov, A.B., Ufa, R.A. Simulating wind power plants for relay protection problems. // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – Vol. 1111 : Problems of energy systems and thermal power complexes. – [012054, 6 p.].

5. A. Suvorov, I. Razzhivin, A. Evseeva. Challenges and approaches in modeling wind power plants in electric power systems. // AIP Conference Proceedings 2135, 020055 (2019); <https://doi.org/10.1063/1.5120692>

6. A. A. Suvorov, A. S. Gusev, Y. S. Borovikov, A. O. Sulaymanov, M .V. Andreev, N. Y. Ruban, R. A. Ufa, I. A. Razzhivin, Y. D. Bay, and S. A. Stavitsky. Development of software – hardware system for real time simulation of electric power system with smart grids // Russian Forum of Young Scientists, KnE Engineering, pages 139–146. DOI 10.18502/keg.v3i4.2236.

7. A. Suvorov, I. Razzhivin, V. Rostovtseva. Analysis of the effect of wind power plants on the out-of-step protection operation // AIP Conference Proceedings 2135, 020056, 2019., <https://doi.org/10.1063/1.5120693>

5. Апробация работы.

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались, обсуждались и демонстрировались на 8 международных и всероссийских научно-технических конференциях и выставках, в частности: IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT), Europe (Румыния, г. Бухарест, 2019г.), IEEE PES ISGT, Europe (Босния и Герцеговина, г. Сараево, 2018г.); All-Russian Forum of Young Scientists «Towards the World Festival of Youth and Students» (Россия, г. Екатеринбург,

2017 г.); IV и V Международный молодежный форум «Интеллектуальные энергосистемы», (Россия, г. Томск, 2016, 2017 гг.); Science Week 2017 (Россия, г. Томск 2017г.), XXXIX сессия семинара «Кибернетика энергетических систем» (Россия, г. Новочеркасск, 2017 г.); Международная специализированная выставка «Электрические сети России» (Россия, г. Москва, 2016г.).

Результаты диссертационной работы реализованы и используются:

- в рамках Гранта Российского научного фонда №18-79-10006 от 02.08.2018 г. «Исследование проблемы достоверности расчетов режимов и процессов в электроэнергетических системах с активно-адаптивными сетями и распределенной генерацией и разработка методики их всережимной верификации»;

- в рамках гранта Министерства науки и высшего образования РФ Соглашение №075-02-2018-271 от 17.01.2018 г. «Исследование влияния спектра процессов в электроэнергетических системах со значительной долей распределённой генерации и возобновляемыми источниками энергии на функционирование устройств релейной защиты и разработка методики её адекватной настройки»;

- в рамках государственного контракта: Гос. задание «Наука» №13.5852.2017/БЧ от 01.02.2017 г. «Разработка концепции всережимной верификации расчётов режимов и процессов в электроэнергетических системах и средств её реализации».

6. Научная новизна работы:

1) проведен анализ технологий в области ветроэнергетики, на основе которого синтезирована математическая модель ветра, примененная для создания специализированного гибридного процессора (СГП) ВЭУ 4 типа;

2) предложена концепция на основе комплексного подхода, позволяющая для каждого аспекта решаемой сложной проблемы всережимного моделирования ВЭУ 4 типа в ЭЭС, применять наиболее

эффективные методы, способы и средства, агрегирование которых обеспечивают успешное решение проблемы в целом;

3) в соответствии с предложенной концепцией разработан и реализован СГП ВЭУ 4 типа.

7. Практическая значимость работы.

Разработаны средства непрерывного всережимного моделирования в реальном времени на неограниченном интервале ВЭУ 4 типа в ЭЭС, позволяющие получить достаточно полную и достоверную информацию о едином непрерывном спектре квазиустановившихся и переходных процессах в ВЭУ указанного типа в ЭЭС при всевозможных нормальных, аварийных и послеаварийных режимах работы, необходимую для решения задач проектирования, исследования и эксплуатации ВЭУ 4 типа в ЭЭС.

8. Рассматриваемая диссертация является законченной научно-квалификационной работой, содержит научные и практически важные результаты. Разработанные средства всережимного моделирования в реальном времени и на неограниченном интервале ВЭУ в ЭЭС позволяют получить достаточно полную и достоверную информацию о едином непрерывном спектре квазиустановившихся и переходных процессов ВЭУ и реальной ЭЭС с ВЭУ при всевозможных нормальных, аварийных и послеаварийных режимах работы, необходимую для решения различных задач проектирования и эксплуатации. Диссертационная работа соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Диссертация **«Всережимное моделирование ветроэнергетической установки в электроэнергетической системе» Разживина Игоря Андреевича** рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности **05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы**

Заключение принято на заседании научного семинара Отделения электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Присутствовало на заседании 15 чел.

Результаты голосования: «за» - 15 чел., «против» - нет, «воздержалось» - нет.

Протокол № 2 от «16» сентября 2019 г.

Председатель научного семинара



В.Я. Ушаков

Профессор Отделения электроэнергетики
и электротехники Инженерной школы
энергетики Национального исследовательского
Томского политехнического университета,
д.т.н., профессор

Секретарь научного семинара



А.С. Ивашутенко

Руководитель Отделения электроэнергетики
и электротехники Инженерной школы
энергетики, к.т.н., доцент

