

Отзыв

официального оппонента Сацука Евгения Ивановича на диссертацию

Зеленина Александра Сергеевича

«Цифровые средства реального времени для испытаний устройств автоматике энергосистем на цифро-аналого-физическом комплексе»,

представленную к защите на соискание ученой степени кандидата

технических наук по специальности

05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы

Актуальность темы диссертации

Одним из применяемых в настоящее время подходов при выполнении исследований динамических свойств электроэнергетических систем (ЭЭС) является их физическое моделирование. Применение физического моделирования позволяет изучать динамические свойства энергосистем в реальном масштабе времени, а также решать задачу проверки работы промышленных или лабораторных образцов реальных устройств, применяемых или планируемых к применению в энергосистемах. Физическое моделирование ЭЭС широко применялось в большом числе зарубежных и отечественных лабораторий. Хотя в настоящее время основным инструментом исследования ЭЭС стало цифровое моделирование, однако для исследования работы устройств РЗА в различных переходных режимах работы ЭЭС в некоторых случаях физическое моделирование является более предпочтительным и достоверным.

На сегодняшний день исследования, проводимые с использованием физических моделей ЭЭС, например, создаваемых на цифро-аналого-физическом комплексе АО «НТЦ ЕЭС», нацелены на проверку работы микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики. При моделировании крупных ЭЭС оснастить физическую модель большим количеством натуральных устройств автоматического управления не представляется возможным, а применение упрощенных аналоговых моделей,

реализованных на этапе создания моделирующих комплексов, таких устройств не всегда отвечает требованиям, предъявляемым к конечной модели энергосистемы.

Целью диссертационной работы Зеленина Александра Сергеевича является разработка способов формирования и проверки математических моделей устройств автоматики энергосистем, а также их реализации на физических моделях энергосистем при исследованиях. Ввиду указанных особенностей, тема диссертационной работы является актуальной.

Общая характеристика работы и ее научных положений

Рецензируемая работа общим объемом 174 страницы состоит из введения, четырех глав, заключения (134 страниц основного текста), трех приложений на 17 страницах, списка литературы из 60 источников, содержит 70 рисунков и 11 таблиц.

Во введении выполнено обоснование выбора темы диссертационной работы и ее актуальности, формируются основные цели и решаемые в диссертации задачи, указана научная новизна и практическая ценность результатов выполненных научных исследований.

Первая глава диссертации посвящена исследованию способов учета динамических свойств измерительных органов устройств автоматики энергосистем и разработке математического описания измерительных органов, которое впоследствии используется при создании средств моделирования устройств противоаварийного управления для цифро-аналого-физического комплекса (ЦАФК). В главе подробно исследовано влияние выполняемого микропроцессорными устройствами сбора данных для интегральных преобразований на частотные характеристики их математических моделей; приведены примеры измерительных органов устройства автоматики и уравнения, описывающие их работу. Приведено описание разработанного метода измерения амплитуды, фазы и частоты напряжения прямой последовательности, оценены динамические характеристики разработанного метода аналитически и выполнена проверка

аналитически полученных результатов с данными, полученными в численных экспериментах.

Во второй главе разработана методика и испытательный стенд для получения экспериментальных частотных характеристик автоматических регуляторов возбуждения (АРВ) сильного действия синхронных генераторов. Выполнена апробация разработанной методики путем получения частотных характеристик на программно-аппаратном комплексе моделирования энергосистем в режиме реального времени (ПАК РВ) для заведомо известной математической модели. Произведен анализ частотных характеристик математических моделей АРВ синхронных генераторов, декларируемых их производителями, и показано, что зачастую декларируемые производителями модели не соответствуют стандарту СТО 59012820.29.160.20.001-2012 АО «СО ЕЭС» «Требования к системам возбуждения и автоматическим регуляторам возбуждения сильного действия синхронных генераторов» (Стандарт), поскольку не содержат описания работы измерительных органов устройств. Приведены уравнения, на основе которых производится расчет частотных характеристик каналов регулирования, работающих совместно, что в сочетании с предложенным способом проведения экспериментов в замкнутом контуре делает разработанный стенд универсальным и независимым от алгоритмических особенностей устройств АРВ.

В третьей главе приводится описание разработанного *программного* средства для моделирования устройств автоматики энергосистем при испытаниях, проводимых на физических моделях. Математическое описание методов измерений параметров электрического режима, приведенное в первой главе, реализовано в разработанном прикладном программном обеспечении, предназначенном для моделирования устройств автоматики энергосистем при испытаниях на физических моделях. Приведено описание общей структуры программного обеспечения, решающего задачи моделирования устройств и задачи проведения экспериментов с его использованием. Приведено математическое описание, позволяющее

выполнять моделирование устройств релейной защиты и автоматики. Приведены результаты апробации работы программного средства, которая заключалась в анализе частотных характеристик каналов регулирования моделируемого с его помощью АРВ. Показано, что при использовании разработанного программного средства обеспечивается регламентируемая Стандартом точность моделирования.

Четвертая глава посвящена вопросу создания *микропроцессорного* (МП) средства моделирования устройств автоматики энергосистем. При создании МП средства учитывается опыт разработки и использования программного средства, описанного в третьей главе. Производится оценка точности моделирования путем анализа частотных характеристик моделируемых устройств и переходных процессов, полученных с их использованием. Использование МП средств моделирования позволяет решать более сложные задачи ввиду большего значения частоты дискретизации работы реализуемых моделей (по сравнению с программным средством) и возможности (при необходимости) модификации методов измерений параметров электрического режима.

В заключении приведено обобщение всех полученных автором результатов. Сформулированы выводы о необходимости использования методики получения экспериментальных частотных характеристик для проверки математических моделей автоматических регуляторов возбуждения. Разработанные программные и микропроцессорные средства моделирования устройств автоматики энергосистем при испытаниях, проводимых на физических моделях, рекомендованы к применению с целью расширения круга задач, решаемых с помощью физических моделей энергосистем.

Наиболее ценными и значимыми результатами, полученными Зелениным Александром Сергеевичем, являются:

- аналитическое обоснование способа получения экспериментальных частотных характеристик для одновременно работающих каналов

регулирования автоматических регуляторов возбуждения сильного действия синхронных генераторов и его практическая реализация;

- создание стенда для получения экспериментальных частотных характеристик каналов регулирования автоматических регуляторов возбуждения сильного действия синхронных генераторов для проведения экспериментов в замкнутом контуре управления;
- апробация разработанного стенда получения экспериментальных частотных характеристик каналов регулирования автоматических регуляторов возбуждения сильного действия синхронных генераторов и его внедрение в АО «НТЦ ЕЭС»;
- анализ декларируемых производителями математических моделей автоматических регуляторов возбуждения сильного действия синхронных генераторов и заключение о необходимости их экспериментальной проверки;
- разработанные программные и микропроцессорные средства моделирования устройств автоматики энергосистем при испытаниях, проводимых на физических моделях, их внедрение в АО «НТЦ ЕЭС» и использование в широком спектре работ.

Достоверность и научная новизна положений, выводов и рекомендаций

Достоверность полученных в диссертационном исследовании результатов подтверждается совпадением аналитически получаемых результатов с полученными экспериментально (численные и физические лабораторные эксперименты). Достоверность сформулированных в диссертации основных положений, выводов и рекомендаций подтверждается внедрением разработанных методик и средств моделирования и их использованием в научно-практических работах, выполняемых в АО «НТЦ ЕЭС».

Научной новизной обладают следующие положения, выводы и рекомендации, изложенные в работе:

- Модифицированная методика экспериментального определения динамических свойств автоматических регуляторов возбуждения, учитывающая характеристики их измерительных органов. Испытательный стенд, реализующий все положения методики.
- Цифровые средства реального времени для испытаний устройств автоматики энергосистем.

Указанные выше основные положения, выводы и рекомендации в полной мере отражены в диссертационной работе и имеют значительный (более 50%) личный вклад автора.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

С учетом изложенного в предыдущем разделе развернутого обоснования представленные в диссертационной работе и ее автореферате основные научные положения, выводы по главам, заключительные выводы и рекомендации по работе являются в целом обоснованными.

Практическая значимость работы

Предложенная методика получения экспериментальных частотных характеристик автоматических регуляторов возбуждения сильного действия синхронных генераторов может быть использована (и используется в настоящий момент) при сертификации отечественных и зарубежных АРВ. С помощью методики могут проверяться математические модели АРВ на соответствие критериям, изложенным в СТО 59012820.29.160.20.001-2012 АО «СО ЕЭС» «Требования к системам возбуждения и автоматическим регуляторам возбуждения сильного действия синхронных генераторов». Практический интерес методика представляет для создания математических моделей АРВ, которые используются при расчете максимально допустимых перетоков активной мощности в контролируемых сечениях и для выбора параметров настройки устройств противоаварийной автоматики.

Созданные цифровые средства реального времени для испытаний устройств автоматики энергосистем используются при создании физических

моделей энергосистем в АО «НТЦ ЕЭС», а разработанное математическое описание измерений параметров электроэнергетического режима применяется при анализе работы различных испытываемых на цифро-аналого-физическом комплексе (и/или программно-аппаратном комплексе моделирования энергосистем в режиме реального времени) устройств противоаварийной и режимной автоматики энергосистем.

Соответствие диссертации критериям, которым должны отвечать диссертации на соискание ученых степеней

По п. 9. Диссертация Зеленина Александра Сергеевича «Цифровые средства реального времени для испытаний устройств автоматики энергосистем на цифро-аналого-физическом комплексе», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы» является законченной научно-квалифицированной работой. В работе содержится решение научно-практических задач, имеющих значение для развития физического моделирования и, как следствие, развития электроэнергетической отрасли знаний.

По п. 10. Диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку.

В диссертации приведены акты внедрения научных результатов диссертации, даны рекомендации по использованию разработанных автором устройств и методик. Предложенные автором научно-практические решения полностью аргументированы и сопоставлены с результатами экспериментальных исследований.

По п.п. 11-13. По теме диссертационной работы опубликовано 11 работ, включая 4 в научных рецензируемых изданиях, входящих в список рекомендуемых ВАК РФ, 1 статью в наукометрических индексируемых базах

Scopus. Содержание опубликованных работ в полной мере отражает содержание диссертации.

По п. 14. В диссертации сделаны необходимые ссылки на авторов и источники заимствования материалов и отдельных результатов.

Основные вопросы и замечания на работе

1. На стр. 15 указано, что «для повышения предела передаваемой мощности в объединенных энергосистемах используются системные стабилизаторы (каналы стабилизации) автоматических регуляторов напряжения, регуляторы частоты и мощности». Каналы стабилизации в АРВ сильного действия действительно оказывают большое влияние на предел передаваемой мощности, а регуляторы частоты и мощности на предел практически не влияют, обеспечивая необходимое качество электроэнергии.

2. В диссертационной работе в части требований к устройствам АРВ сильного действия автор ссылается на Стандарт АО «СО ЕЭС» СТО 59012820.29.160.20.001-2012 «Требования к системам возбуждения и автоматическим регуляторам возбуждения сильного действия синхронных генераторов», однако Приказом Минэнерго от 13.02 2019 №98 утверждены новые «Требования к системам возбуждения и автоматическим регуляторам возбуждения сильного действия синхронных генераторов». Данные Требования являются нормативным документом более высокого уровня, поэтому следовало бы сослаться на него.

3. В п.3.3 не достаточно обоснованы применяемые численные методы: метод Зейделя для решения системы уравнений и метод Эйлера для интегрирования дифференциальных уравнений. Известны недостатки данных методов, такие как численная неустойчивость (что указывается и самим автором), накопление ошибки интегрирования и т.п., поэтому необходимо было бы привести подтверждение правильности выбранных численных методов.

4. В п.4.3 приведена апробация и оценка эффективности микропроцессорных средств моделирования устройств противоаварийной

автоматики, при этом нет указаний на то, какие именно типы устройств противоаварийной автоматики моделировались. Необходимо было бы привести пример модели устройства противоаварийной автоматики.

Сформулированные вопросы и замечания не влияют на положительную оценку диссертационной работы.

Заключение

Диссертация Зеленина Александра Сергеевича соответствует формуле и областям исследования паспорта специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы», в частности, пунктам:

6. разработка методов математического и физического моделирования в электроэнергетике;

9. разработка методов анализа и синтеза систем автоматического регулирования, противоаварийной автоматики и релейной защиты в электроэнергетике;

13. разработка методов использования ЭВМ для решения задач в электроэнергетике.

Диссертационная работа отвечает критериям «Положения о присуждении ученых степеней» (утв. пост. Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 с изменениями постановления Правительства РФ от 21.04.2016 г. № 335 «О внесении изменения в Положение о присуждении ученых степеней»), в том числе требованиям пунктов 9-14, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук. Диссертационная работа является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития электроэнергетической отрасли знаний в области физического и математического моделирования энергосистем, а ее автор, Зеленин Александр Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Официальный оппонент

Доктор технических наук, доцент, Начальник Службы внедрения противоаварийной и режимной автоматики АО «СО ЕЭС»		Сацук Евгений Иванович  <hr/> «18» 09.2020
---	--	---

Акционерное общество «Системный оператор Единой энергетической системы»

109074, Россия г. Москва, Китайгородский проезд, д. 7, стр. 3.

Тел: +7-499-218-88-88

Корреспонденцию направлять:

по факсу +7-495-627-95-15 или на e-mail secr@so-ups.ru

Сайт: <https://www.so-ups.ru/>

Подпись Е.И. Сацука заверяю

заместитель директора
по управлению персоналом



Маршпанов И.О.



«18» 09.2020

Контактные данные для отзыва:

Телефон: +7 (916) 089-12-64; E-mail: satsuk-ei@so-ups.ru

Сведения об официальном оппоненте

ФИО	Сацук Евгений Иванович
Ученая степень и наименование отрасли науки, научных специальностей, по которым защищена диссертация	Доктор технических наук 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы
Ученое звание	Доцент
Полное наименование организации, являющейся основным местом работы, должность	Исполнительный аппарат АО «СО ЕЭС», Начальник Службы внедрения противоаварийной и режимной автоматики АО «СО ЕЭС»
Почтовый адрес организации	109074, Россия г. Москва, Китайгородский проезд, д. 7, стр. 3
Телефон	+7 (916) 089-12-64
Адрес электронной почты	satsuk-ei@so-ups.ru
Основные публикации по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Арцишевский Я.Л., Климова Т.Г., Жуков А.В., Сацук Е.И., Расцепляев А.И. Использование программно-аппаратного комплекса RTDS для анализа функционирования автоматических регуляторов возбуждения: настройка АРВ разных типов для подавления низкочастотных колебаний в энергосистеме. Энергетик. 2015. № 11. С. 22-28. 2. Засыпкин А.С., Левченко И.И., Сацук Е.И., Шовкопляс С.С., Щуров А.Н. Трёхфазно-трёхфазные тиристорные преобразователи для плавки гололёда на воздушных линиях электропередачи. Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2012. № 2. С. 50-52. 3. Сацук Е.И., Лужковский Ю.И. Противоаварийное управление при перегрузке воздушных линий электропередачи по току. Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2012. № 2. С. 85-87. 4. Лисицын А.А., Николаев А.В., Сацук Е.И., Тен Е.А. Организация и результаты тестирования алгоритмов ЦСПА нового поколения. Известия НТИЦ Единой энергетической системы. 2013. № 1 (68). С. 79-90. 5. Арцишевский Я.Л., Климова Т.Г., Жуков А.В., Сацук Е.И., Расцепляев А.И. Использование

программно-аппаратного комплекса RTDS для анализа функционирования автоматических регуляторов возбуждения: создание тестовых схем. Энергетик. 2013. № 9. С. 012-015.

6. Арцишевский Я.Л., Климова Т.Г., Жуков А.В., Сацук Е.И., Расщепляев А.И. Использование программно-аппаратного комплекса RTDS для анализа функционирования автоматических регуляторов возбуждения: оценка качества переходного процесса. Энергетик. 2013. № 10. С. 014-016.

7. Арцишевский Я.Л., Климова Т.Г., Жуков А.В., Сацук Е.И., Расщепляев А.И. Использование программно-аппаратного комплекса RTDS для анализа функционирования автоматических регуляторов возбуждения: получение и верификация моделей микропроцессорных АРВ. Энергетик. 2014. № 1. С. 50-54.

8. Арцишевский Я.Л., Климова Т.Г., Жуков А.В., Сацук Е.И., Расщепляев А.И. Использование программно-аппаратного комплекса RTDS для анализа функционирования автоматических регуляторов возбуждения: влияние структуры и параметров арв на колебательные свойства АСР. Энергетик. 2014. № 6. С. 21-25.

9. Жуков А.В., Сацук Е.И., Сафронов А.Н. Развитие системы автоматического вторичного регулирования частоты и перетоков активной мощности в ЕЭС России. Энергия единой сети. 2014. № 6 (17). С. 24-30.

10. Жуков А.В., Сацук Е.И., Дубинин Д.М., Опалев О.Л., Уткин Д.Н. Вопросы применения технологии синхронизированных векторных измерений для задач мониторинга эксплуатационного состояния электрооборудования. Энергетик. 2017. № 9. С. 3-8.

11. Сацук Е.И., Панферова И.В. Сравнение эффективности различных способов выполнения автоматики ограничения перегруза линий электропередачи. Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2010. № SD. С. 61-62.

12. Жуков А.В., Сацук Е.И., Лисицын А.А. Опыт применения противоаварийной автоматики в ЕЭС России. Энергетик. 2018. № 9. С. 3-8.

13. Жуков А.В., Сацук Е.И., Дубинин Д.М., Опалев О.Л., Климова Т.Г., Расщепляев А.И. Методы выявления колебаний параметров электрического режима энергосистемы и их применение для задач управления энергосистемой. Энергетик. 2018. № 12. С. 3-9.

	<p>14. Андранович Б., Бинько Г.Ф., Грабчак Е.П., Жуков А.В., Купчиков Т.В., Миляев Р.Г., Павлушко С.А., Сацук Е.И. Организация противоаварийного управления при аварийном дефиците мощности в изолированной энергосистеме. Известия НТЦ Единой энергетической системы. 2019. № 2 (81). С. 6-13.</p> <p>Аюев Б.И., Грабчак Е.П., Лисицын А.А., Сацук Е.И., Чаплюк С.В., Черезов А.В., Шаров Ю.В. Разработка программно-технического комплекса противоаварийной автоматики калининградской энергосистемы. Известия НТЦ Единой энергетической системы. 2019. № 2 (81). С. 14-22.</p>
--	---

Дата 24.07.2020

Подпись _____

