

ОТЗЫВ

официального оппонента – кандидата технических наук
Илюшина Павла Владимировича на диссертационную работу
Зеленина Александра Сергеевича на тему «Цифровые средства реального
времени для испытаний устройств автоматики энергосистем на цифро-аналого-
физическом комплексе», представленную на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности
05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы»

1. АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

Основными направлениями в обеспечении будущего электроэнергетики России являются разработка новых и совершенствование существующих технологий производства и транспорта энергоресурсов, формирование «новой энергетики», а также широкое внедрение энергосберегающих технологий на транспорте, в жилищно-коммунальном хозяйстве и промышленности. Внедрение современных технологий должно обеспечить повышение надежности, безопасности и эффективности управления электроэнергетическими системами (ЭЭС), как указано в Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года.

Создание систем и сервисов интеллектуальной энергетики предусмотрено «дорожной картой» Национальной технологической инициативы «Энерджинет» и национальным проектом «Интеллектуальная энергетическая система России». В документах определена последовательность шагов по поэтапному преобразованию ЭЭС за счет широкого применения возобновляемых источников энергии (ВИЭ), распределенной генерации (РГ), систем накопления энергии, активных потребителей, управляемых устройств с элементами силовой электроники, интегрируемых в Smart Grids.

В условиях существенного усложнения ЭЭС повышаются требования к функционированию применяемых устройств автоматики энергосистем. Обеспечение их корректного функционирования невозможно без проведения испытаний в лабораторных и натуральных условиях. Проведение лабораторных испытаний устройств автоматики энергосистем с использованием физического моделирования позволяет решать различные научно-исследовательские задачи.

Следовательно, актуальность разработки и исследования цифровых средств реального времени, позволяющих выполнять качественное моделирование систем автоматического режимного, противоаварийного управления и регулирования в составе физических моделей энергосистем, в представленной соискателем диссертационной работе не вызывает сомнений.

На основании проведенного анализа применяемого для проведения

лабораторных испытаний измерительно-информационного обеспечения и последующих количественных оценок погрешности измерительных органов регуляторов возбуждения, частоты и мощности, соискателем была осуществлена постановка цели и задач исследования.

Целью диссертационной работы Зеленина А.С. является создание и исследование цифровых средств для испытаний устройств автоматики энергосистем на цифро-аналого-физических комплексах.

Объектом исследования являются электроэнергетическая система и устройства автоматики энергосистем.

Предметом исследования являются динамические свойства устройств автоматики энергосистем, таких как автоматические регуляторы возбуждения, автоматика ограничения повышения частоты, регуляторы скорости и др., разработанные цифровые средства реального времени, используемые для испытаний устройств автоматики энергосистем на цифро-аналого-физическом комплексе.

Важно отметить, что диссертационная работа выполнялась при поддержке Комитета по науке и высшей школе Правительства Санкт-Петербурга в форме гранта для студентов, аспирантов, молодых ученых, молодых кандидатов наук (распоряжение Комитета по науке и высшей школе Правительства Санкт-Петербурга от 05.12.2014 №161).

2. НОВИЗНА ИССЛЕДОВАНИЙ И ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Личный вклад соискателя заключается в обобщении, исследовании и совершенствовании приведенных в работе методов измерений, проведении экспериментальных и теоретических исследований, анализе полученных результатов, разработке испытательного стенда для экспериментального определения частотных характеристик, разработке программного обеспечения, функционирующего в режиме реального времени, цифровых средств моделирования устройств автоматики энергосистем на базе промышленных микропроцессорных плат, создании структурных схем испытаний для проведения исследований энергосистем с программными и микропроцессорными средствами моделирования устройств автоматики.

Научной новизной в представленной Зелениным А.С. диссертационной работе обладают следующие положения:

- разработана и исследована методика экспериментального определения динамических свойств автоматических регуляторов возбуждения, учитывающая характеристики их измерительных органов;
- разработаны цифровые средства реального времени, функционирующие в составе физических моделей энергосистем, для

испытаний систем автоматического режимного, противоаварийного управления и регулирования.

Наиболее значимыми новыми результатами, полученными в рамках диссертационной работы, являются:

- анализ математических моделей автоматических регуляторов возбуждения, предоставляемых производителями, с применением методов учета измерительных органов при анализе частотных характеристик;

- разработка и создание стенда для получения экспериментальных частотных характеристик каналов регулирования автоматических регуляторов возбуждения, учитывающего характеристики измерительных органов, проведение его аналитической и экспериментальной проверки;

- разработка программного обеспечения, функционирующего в режиме реального времени, а также создание моделей устройств автоматики на базе промышленных микропроцессорных плат, реализующих функционал реальных устройств автоматики в составе физических моделей энергосистем.

3. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ И РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

Диссертационная работа Зеленина А.С имеет конкретную практическую направленность, заключающуюся в:

- разработке стенда для получения экспериментальных частотных характеристик автоматических регуляторов возбуждения, используемого в АО «НТЦ ЕЭС» при проверке математических моделей устройств АРВ, предоставленных производителями, а также при проведении добровольной сертификации промышленных автоматических регуляторов возбуждения;

- создании программных и микропроцессорных средств реального времени для моделирования устройств автоматики энергосистем в составе физических моделей энергосистем, позволяющих воспроизводить работу сложных устройств, алгоритмы функционирования которых не заложены в оборудование существующих цифро-аналого-физических комплексов, что позволяет повышать качество моделирования энергосистем и степень достоверности получаемых с их помощью результатов.

Внедрение результатов диссертационного исследования Зеленина А.С. подтверждено соответствующим актом внедрения АО «НТЦ ЕЭС».

4. ОБОСНОВАННОСТЬ И ДОСТОВЕРНОСТЬ НАУЧНЫХ ВЫВОДОВ, ПОЛОЖЕНИЙ И РЕКОМЕНДАЦИЙ

Достоверность полученных в диссертационной работе результатов подтверждена корректным использованием теории электрических систем, устойчивости электроэнергетических систем и противоаварийного управления

в электроэнергетических системах, корректным применением методов математического и физического моделирования, а также результатами проведенных многочисленных испытаний.

Полученные в диссертационном исследовании выводы сформулированы на основе как экспериментального (численный эксперимент, физический эксперимент), так и аналитического обоснования.

Представленные в диссертационной работе основные научные положения, выводы по главам, заключительные выводы и рекомендации являются в целом обоснованными.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ О СООТВЕТСТВИИ ДИССЕРТАЦИИ УСТАНОВЛЕННЫМ КРИТЕРИЯМ

Диссертационная работа Зеленина А.С. отвечает критериям пунктов 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в редакции от 01.10.2018). В ней соблюдены следующие принципы соответствия:

5.1. Указанная соискателем цель работы – создание и исследование цифровых средств для испытаний устройств автоматики энергосистем на цифро-аналого-физических комплексах – реализована в рамках диссертационной работы. В целом диссертационная работа является законченной научно-квалифицированной работой, так как содержит решение научных и практических задач, имеющих значение для совершенствования практики применения физического моделирования в части испытаний устройств автоматики энергосистем, что способствует развитию электроэнергетической отрасли (п. 9).

5.2. Диссертация написана автором самостоятельно, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, что свидетельствует о личном вкладе соискателя в науку. Кроме того, в диссертации имеются сведения о практическом использовании полученных автором диссертации научных результатов (акт о внедрении результатов диссертационной работы АО «НТЦ ЕЭС»). Предложенные научно-практические решения аргументированы и сопоставлены с результатами экспериментальных и аналитических исследований других авторов (п. 10).

5.3. Научные публикации Зеленина А.С. – 11 печатных научных работ, в том числе 4 статьи в изданиях из перечня российских рецензируемых научных журналов ВАК РФ, 1 статья в научном издании, индексируемом наукометрической базой Scopus, 6 публикаций в сборниках материалов и трудов международных научных конференций, изданных в период с 2009 по

2019 г., соответствуют теме диссертационной работы и в полной мере отражают ее содержание. У соискателя имеется 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ (п.п. 11-13).

5.4. В диссертационной работе сделаны необходимые ссылки на авторов и источники заимствования материалов и отдельных результатов (п. 14).

5.5. Тема и содержание диссертации Зеленина А.С. соответствует паспорту специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы» по следующим пунктам:

п. 6 – разработка методов математического и физического моделирования в электроэнергетике;

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

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

6. АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационная работа Зеленина А.С. состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 60 наименований, и трех приложений. Общий объем диссертационной работы составляет 174 страницы, включая в себя 70 рисунков и 11 таблиц.

Во введении представлена общая характеристика работы, обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи исследования, представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов, внедрение и апробация полученных результатов, сформулированы положения, выносимые на защиту.

Первая глава *«Повышение достоверности измерения и контроля параметров работы энергосистем в цифровых средствах реального времени»* посвящена аналитическому обзору способов оценки динамических свойств измерительных органов напряжения и частоты в системах автоматического режимного, противоаварийного управления и регулирования. В главе приведено описание модифицированного метода расчета частоты в трехфазной системе и вычисления параметров (амплитуды, фазы) первой гармоники напряжения (тока) с использованием оконного дискретного преобразования Фурье, выполненного на постоянном временном интервале. Предложенные методы учета свойств измерительных органов используются далее в диссертационной работе для анализа динамических свойств математических моделей автоматических регуляторов возбуждения (АРВ). Разработанные методы измерений параметров электроэнергетического режима

проанализированы с использованием предложенных методов учета, выполнена проверка аналитически полученных результатов с данными, полученными в численных экспериментах.

Во второй главе *«Экспериментальные исследования динамических свойств каналов автоматических регуляторов возбуждения»* приведено описание разработанной методики и моделирующего комплекса, созданных для экспериментального получения частотных характеристик АРВ сильного действия синхронных генераторов. Показано, что созданный стенд позволяет выполнять расчет частотных характеристик по экспериментальным данным с учетом работы измерительных органов. Анализ корректности получаемых результатов выполнен на основе предложенных методов учета динамических свойств измерительных органов. Методика, специализированное программное обеспечение для расчета и моделирующий комплекс апробированы с использованием заданной математической модели АРВ. С помощью моделирующего комплекса проведено исследование частотных характеристик промышленных образцов АРВ и обосновано, что передаваемые производителями модели должны проверяться экспериментально, поскольку эти модели не содержат описания работы измерительных органов устройств.

Третья глава *«Разработка программного средства моделирования устройств противоаварийного управления для цифро-аналого-физического комплекса»* посвящена разработке программного средства для имитации работы устройств автоматики энергосистем при испытаниях, проводимых на физических моделях. В главе приведена структура разработанного программного обеспечения, реализованного в виде распределенной вычислительной системы. В отдельных программах реализованы задачи формирования математической модели для расчета, измерения параметров электроэнергетического режима объекта управления с помощью устройств аналого-цифрового преобразования, расчета управляющих воздействий, согласно сформированной математической модели на основе данных измерений, управления процессом моделирования. Разработанное программное обеспечение апробировано путем определения экспериментальных частотных характеристик реализуемой с его помощью модели АРВ, полученные результаты подтверждают корректность его функционирования.

В четвертой главе *«Создание микропроцессорных средств моделирования устройств противоаварийного управления для комплекса реального времени»* выполнена разработка средств моделирования устройств автоматики энергосистем с помощью микропроцессорной (МП) платы, оснащенной устройствами аналого-цифрового преобразования. Разработанные измерительные алгоритмы вместе с пользовательской моделью устройства

автоматики загружаются на МП плату. Точность моделирования подтверждена сопоставлением переходных процессов получаемых при использовании МП платы и с использованием модели, реализуемой общепризнанным моделирующим комплексом, а также за счет анализа частотных характеристик.

В заключении представлены обобщающие выводы по диссертационной работе, где показано, что предложенный испытательный комплекс для получения частотных характеристик рекомендован к применению для проведения проверок математических моделей автоматических регуляторов возбуждения. Кроме того, разработанные программные и микропроцессорные средства моделирования устройств автоматики энергосистем рекомендованы к применению при проведении испытаний, проводимых на физических моделях.

7. ВОПРОСЫ И ЗАМЕЧАНИЯ ПО СОДЕРЖАНИЮ ДИССЕРТАЦИИ

При ознакомлении с диссертационной работой и авторефератом диссертации Зеленина А.С. возникли следующие замечания и вопросы:

1. Положения научной новизны сформулированы не совсем удачно, так как в них следует явно указывать, чем полученные соискателем результаты отличаются от других известных решений.

2. В п.1.3. «Разработка методики коррекции характеристик измерительных органов цифровых средств реального времени с учетом изменения амплитуды и частоты контролируемых электрических сигналов» не представлена сама методика, а только информация для ее формирования. Методика – это установленный способ осуществления деятельности с конкретизацией используемых на каждом этапе характеристик, параметров, критериев, алгоритмов, методов, приемов и др. Следовало бы в диссертации приведенную информацию представить в формате методики.

3. В работе степень соответствия математических моделей автоматических регуляторов возбуждения оценивается путем соответствия их частотных характеристик в диапазоне 0,1-10 Гц. Следует обосновать, по какой причине выбран именно этот диапазон частот?

4. Известно, что метод Зейделя при решении системы нелинейных алгебраических уравнений обладает низкими показателями устойчивости. Необходимо пояснить, по какой причине был использован именно этот метод в программном эмуляторе?

5. Необходимо пояснить, почему в микропроцессорном эмуляторе модели устройств автоматики реализуются не с использованием программного обеспечения собственной разработки, а с применением среды *Matlab Simulink*?

6. В диссертации отсутствует информация о том, какие именно устройства (системы автоматического управления, регулирования)

моделировались с использованием разработанного соискателем микропроцессорного эмулятора.

7. На стр. 109 диссертации указано, что разработанные программные средства применялись для моделирования газотурбинных установок (ГТУ), их регуляторов скорости и автоматических регуляторов возбуждения при исследованиях работы автоматики ограничения повышения частоты в энергосистеме Калининградской области, однако информация о моделях ГТУ в диссертации отсутствует.

8. Редакционные замечания по тексту диссертации:

- рис. 5 (стр. 39) в диссертации не имеет подписи;
- в списке использованных терминов и сокращений не следует приводить общеупотребимые в государственных нормативно-правовых актах сокращения (АО, ЗАО, РФ).

Приведенные замечания и вопросы не уменьшают очевидных достоинств представленной диссертационной работы, поскольку существенно не влияют на основные выводы, а также полученные научные и практические результаты.

8. ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная диссертационная работа Зеленина А.С. является самостоятельной, законченной научно-квалификационной работой, обладающей как признаками актуальности и научной новизны, так и практической значимостью полученных результатов.

Результаты, полученные соискателем в диссертационном исследовании, базируются на глубоком анализе способов измерений параметров режима в трехфазных системах, методов их цифровой обработки в темпе переходных процессов, а также способов учета динамических свойств измерительных органов устройств автоматики энергосистем, что позволяет сделать вывод о том, что содержание диссертационной работы соответствует паспорту специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Содержание диссертационной работы соответствует поставленным задачам и подробно отражает последовательность их решения. Текст диссертационной работы изложен доступным языком, корректным в научном и техническом отношениях. Материалы и результаты исследований представлены в объеме, достаточном для понимания, доступно и репрезентативно, а выводы и рекомендации аргументированы.

Автореферат диссертации соответствует диссертационной работе по основным квалификационным признакам: цели, задачам исследования, основным положениям, актуальности, научной новизне, практической значимости.

Основные научные и практические результаты по каждой из глав диссертационной работы Зеленина А.С. изложены с достаточной полнотой в 11 печатных научных работах, в том числе 4 в изданиях из перечня российских рецензируемых научных журналов ВАК РФ, 1 – в научном издании, индексируемом наукометрической базой Scopus.

В целом диссертационная работа Зеленина А.С. на тему «Цифровые средства реального времени для испытаний устройств автоматики энергосистем на цифро-аналого-физическом комплексе» соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а именно критериям пунктов 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в редакции от 01.10.2018), а ее автор Зеленин Александр Сергеевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ

Проректор по научной работе
Федерального государственного автономного образовательного
учреждения дополнительного профессионального образования
«Петербургский энергетический институт повышения квалификации»,
кандидат технических наук



Павел Владимирович Илюшин

20 августа 2020 г.

Тел. (моб): +7(915) 092-98-33

E-mail: ilyushin.p@mail.ru

Подпись Илюшина П.В. заверяю:



В.В. Озонковский

Сведения об официальном оппоненте

по диссертации Зеленина Александра Сергеевича на тему «Цифровые средства реального времени для испытаний устройств автоматики энергосистем на цифро-аналого-физическом комплексе», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы»

Ф.И.О.	Илюшин Павел Владимирович
Гражданство	РФ
Ученая степень	Кандидат технических наук
Шифр и название специальности по которой защищена диссертация оппонента	05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы»
Ученое звание	-
Основное место работы:	
Полное наименование организации в соответствии с уставом	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Петербургский энергетический институт повышения квалификации»
Сокращенное наименование организации	ФГАОУ ДПО «ПЭИПК»
Ведомственная принадлежность организации	Министерство энергетики РФ
Почтовый адрес организации	196135, г. Санкт-Петербург, ул. Авиационная, 23
Телефон организации	8 (812) 373-90-10, 8 (812) 373-61-74, факс 8 (812) 373-90-11
Электронная почта	rector@peipk.spb.ru, ilyushin.pv@mail.ru
Наименование подразделения организации	Ректорат
Должность в организации	Проректор по научной работе

Список основных публикаций

официального оппонента – кандидата технических наук

Илюшина Павла Владимировича по теме оппонируемой диссертации в
рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет

1.	Pyushin P.V., Filippov S.P. Under-frequency load shedding strategies for power districts with distributed generation // The Proceedings of 2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). pp. 1-6. March 25-29, 2019. Sochi, Russia. doi: 10.1109/ICIEAM.2019.8743001.
2.	Pyushin P.V., Kulikov A.L., Filippov S.P. Adaptive algorithm for automated undervoltage protection of industrial power districts with distributed generation facilities // The proceedings of the 2019 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). pp. 1-6. September 8-14, 2019, Sochi, Russia. DOI: 10.1109/RUSAUTOCON.2019.8867807.
3.	Pyushin P.V., Mokeev A.V., Narovlyanskii V.G. An innovative adaptive automated complex for protection against out-of-step conditions in a power plant // Power Technology and Engineering. Vol. 53, № 2, July, 2019. pp. 240-247. DOI: 10.1007/s10749-019-01066-0.
4.	Куликов А.Л., Илюшин П.В. Статистические методы оценки параметров аварийного режима энергорайонов с объектами распределенной генерации // Электричество. 2019. № 5. С. 4-11.
5.	Pyushin P.V., Suslov K.V. Operation of automatic transfer switches in the networks with distributed generation // The Proceedings of 2019 IEEE Milan PowerTech. pp. 1-6. June 23-27, 2019. Milan, Italy. doi:10.1109 / PTC.2019.8810450.
6.	Куликов А.Л., Илюшин П.В., Пелевин П.С. Применение дискриминаторных методов для оценки параметров режима энергорайонов с объектами распределенной генерации // Электричество. 2019. № 7. С. 22-35.
7.	Илюшин П.В. Особенности организации противоаварийного управления в сетях с современными генерирующими установками // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22. № 5 (136). С. 134-151.
8.	Илюшин П.В. Особенности реализации многопараметрической делительной автоматики в энергорайонах с объектами распределенной генерации // Релейная защита и автоматизация. 2018. № 2 (31). С. 12-24.
9.	Илюшин П.В., Паздерин А.В. Требования к делительной автоматике объектов распределенной генерации с учетом влияния параметров прилегающей сети и нагрузки // Электроэнергия. Передача и распределение. 2018. № 4 (49). С. 42-47.
10.	Илюшин П.В. Особенности учета параметров нагрузки при анализе переходных процессов в сетях с объектами распределенной генерации // Электроэнергия. Передача и распределение. 2018. № 6 (51). С. 54-61.
11.	Илюшин П.В. Комплексное моделирование электрических режимов в сетях внешнего и внутреннего электроснабжения предприятий с собственной генерацией. Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22. № 4 (135). С. 122-135.

