

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 512.002.01,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ АКЦИОНЕРНОГО ОБЩЕСТВА «НАУЧНО-  
ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЕТЕВОЙ КОМПАНИИ  
ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ» (АО «НТЦ ФСК ЕЭС»)  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 01 апреля 2021 года № 1

О присуждении Зеленину Александру Сергеевичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Цифровые средства реального времени для испытаний устройств автоматики энергосистем на цифро-аналого-физическом комплексе» по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы» принята к защите 30.07.2020 (протокол заседания № 6) диссертационным советом Д 512.002.01, созданным в соответствии с приказом Министерства образования и науки РФ от 11.04.2012 № 105/нк на базе Открытого акционерного общества «Научно-технический центр Федеральной сетевой компании Единой энергетической системы» (ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»), находящегося по адресу: 115201, г. Москва, Каширское шоссе, дом 22, корпус 3. Соискатель Зеленин Александр Сергеевич, 1989 года рождения, в 2012 году окончил ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (ФГАОУ ВО «СПбПУ»), магистр техники и технологии по направлению «Электроэнергетика». С 2012 по 2016 годы обучался в очной аспирантуре ФГАОУ ВО «СПбПУ», а также работал в АО «НТЦ ЕЭС» в должности инженера, с 2016 года был переведен на должность старшего научного сотрудника, где работает в настоящее время. Диссертация выполнена на кафедре «Электрические станции и автоматизация

энергетических систем» ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого».

Научный руководитель – доктор технических наук Попов Максим Георгиевич, доцент, профессор высшей школы Высоковольтной энергетики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого».

Официальные оппоненты:

Сацук Евгений Иванович – доктор технических наук, доцент, начальник службы внедрения противоаварийной и режимной автоматики АО «СО ЕЭС» (Акционерное общество «Системный оператор Единой энергетической системы»),

Илюшин Павел Владимирович, доктор технических наук, проректор по научной работе федерального государственного автономного образовательного учреждения дополнительного профессионального образования «Петербургский энергетический институт повышения квалификации» дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация - федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»», г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном:

Насыровым Р.Р., к.т.н., заместителем заведующего кафедрой «Электроэнергетические системы»,

Кузнецовым О.Н., к.т.н., доцентом кафедры «Электроэнергетические системы»,

Шульженко С.В., к.т.н., доцентом кафедры «Электроэнергетические системы»,

Удинцевым Д.Н., д.т.н., профессором кафедры «Электроэнергетические системы»,

Климовой Т.Г., к.т.н., доцентом кафедры «Электроэнергетические системы»,

указала, что диссертационная работа соответствует требованиям пп. 9 – 14 раздела II (Критерии, которым должны отвечать диссертации на соискание

ученых степеней) «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. 01.10.2018), предъявляемым к квалификационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Зеленин Александр Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Соискатель имеет 11 опубликованных работ, в том числе 4 статьи в рецензируемых журналах из списка ВАК, 1 – в изданиях базы данных *Scopus*.

**В рецензируемых журналах из перечня ВАК:**

1. Зеленин А.С., Кузнецов В.Л., Попов М.Г. Разработка микропроцессорного испытательно-диагностического комплекса средств релейной защиты и автоматики электроэнергетических систем // Научно-технические ведомости СПбГПУ, серия «Наука и образование». – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – № 2-2(147). – С. 53-58.

2. Гуриков О.В., Зеленин А.С., Кабанов Д.А. Разработка методики настройки системных стабилизаторов зарубежного типа с использованием частотных методов анализа // Электрические станции: произв.-техн. Журнал. – М.: Энергопрогресс, 2015. – 12. – С. 9-17.

3. Гуриков О.В., Зеленин А.С., Штефка Й. Методика построения математических моделей микропроцессорных АРВ по экспериментально снятым частотным характеристикам // Известия НТЦ ЕЭС. – СПб, 2016. – 75. – С. 45-58.

4. Елисеев Д.А., Зеленин А.С. Микропроцессорная система для моделирования устройств автоматического регулирования в составе физических моделей энергосистем // Известия НТЦ Единой Энергетической системы. – 2018. – 79. – С. 73-81.

Публикации в базе данных *Scopus*:

5. Aleksandr Zelenin, Dmitry Eliseev, Maksim Popov Development and Implementation Experience of Microprocessor Emulators for Cyber-physical AVR

Testing Complexes. – конф. January 28-30, 2019, St.Petersburg.  
<https://ieeexplore.ieee.org/document/8657237>

**В других изданиях:**

6. Зеленин А.С. Мичурин Н.А. Применение электродинамической модели для исследования режимов в энергосистемах // XXXVIII неделя науки СПбГПУ: Материалы международной научно-практической конференции. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – Т. II. – С. 17-19.

7. Зеленин А.С., Шескин Е.Б., Штефка Й. Программно-технический комплекс для формирования и реализации цифровых моделей регуляторов возбуждения и мощности энергоблоков // Электроэнергетика глазами молодежи: научные труды III международной научно-технической конференции: сборник статей. – Екатеринбург: УрФУ, 2012. – С. 238-243.

8. Зеленин А.С. Штефка Й. Расчет частоты по коэффициентам разложения Фурье в трехфазной цепи // Известия НТЦ Единой энергетической системы. – 2013. – № 2(69). – С. 32-35.

9. Зеленин А.С. Технология создания цифровых моделей устройств управления возбуждением и мощностью синхронных генераторов цифро-аналого-физического комплекса на микропроцессорной базе с использованием SIMULINK // Электроэнергетика глазами молодежи: труды VI международной научно-технической конференции. – Иваново: ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина», 2015. – Т. I. – С. 101-104.

10. Тимофеева Я.А., Зеленин А.С., Гуриков О.В. Сопоставление различных методов измерения частоты электрического тока // Электроэнергетика глазами молодежи-2016: материалы VII Международной научно-технической конференции, 19 – 23 сентября 2016 г., Казань. – В 3 т. – Казань: КГЭУ, 2016. – Т. 3. – С. 113-114.

11. Гуриков О.В., Зеленин А.С., Кабанов Д.А. Влияние точности цифровой модели автоматического регулятора возбуждения на результаты оптимизации его настроечных параметров // Электроэнергетика глазами

молодежи: труды VII международной научно-технической конференции. – 2016. – Т. II. – С. 179-181

В диссертации отсутствуют достоверные сведения об опубликованных работах. Личный вклад автора в опубликованных работах из перечня ВАК и Scopus:

[1] – разработка методики построения моделирующего комплекса и программного обеспечения, выполнение экспериментов, анализ полученных результатов экспериментов;

[2] – подготовка испытательного стенда, математической модели для выполнения экспериментов, выполнение экспериментов;

[3, 11] – разработка методики получения экспериментальных частотных характеристик, получение экспериментальных частотных характеристик по разработанной методике для исследуемого АРВ, анализ измерительных органов для построения аналитических частотных характеристик, сопоставление результатов экспериментов с данными, полученными от проявителей;

[4, 5] – создание методики реализации математических моделей устройств автоматики энергосистем с использованием микропроцессорного оборудования, создание моделей, осуществляющих расчет параметров электрического режима (измерительных органов устройств), обоснование аналитического описания моделей.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Положительный отзыв от **ФГБОУ ВПО «Вятский государственный университет»**, подписанный Новиковым А.В., к.т.н., заведующим кафедрой «Электрические станции», Бессолицыным А.В., к.т.н., доцентом кафедры «Электрические станции». Отзыв содержит следующие замечания:

– Из представленного текста автореферата не ясно, каким образом получают ЧХ каналов АРВ при наличии в их структуре нелинейных элементов.

– Не указано, почему предельное значение обобщенной погрешности

математической модели АРВ задано равным 10 %.

– Почему при оценке качества моделирования устройства автоматики энергосистемы с использованием программного средства моделирования устройств производится сравнение с математической моделью АРВ, а не с натурным устройством?

– Почему при создании микропроцессорного средства используется MATLAB Simulink?

2. Положительный отзыв от **Белорусского национального технического университета**, подписанный Новашем И.В., к.т.н., заведующим кафедрой «Электрические станции», Романюком Ф.А., д.т.н., заслуженным работником образования Республики Беларусь, членом-корреспондентом НАН Беларуси, профессором кафедры «Электрические станции». Отзыв содержит следующие замечания:

– В третьей главе диссертационной работы автором выполнена разработка программных средств моделирования устройств локальной и системной автоматики энергосистем, приведены результаты исследований динамических свойств разработанных программных средств. Из материалов автореферата не совсем ясно можно ли выполнить расчет и формирование противоаварийных управляющих воздействий в режиме реального времени на отдельных высокопроизводительных компьютерах или разработанное программное обеспечение можно использовать только в составе программно-аппаратного комплекса моделирования энергосистем в режиме реального времени *Real Time Digital Simulator*?

3. Положительный отзыв от **ФГБОУ ВПО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»**, подписанный Мокеевым А.В., д.т.н., профессором кафедры «Электроэнергетики и электротехники». Отзыв содержит следующие замечания:

– В автореферате приводятся классификация алгоритмов ИО РЗА на инерционные и безынерционные (стр. 8). Причем из последних рассматривается только один алгоритм. Но зачем тогда приводится такая классификация?

Следует отметить, что рассмотренный в диссертации известный безынерционный алгоритм имеет весьма ограниченное применение и неприменим для измерения действующих значений фазных напряжений и измерений токов. Действующее значение напряжения при этом действительно не зависит от изменения частоты, но сильно зависит от различий амплитуд фазных напряжений.

– На 8-ой странице автореферата приведено некорректное определение КИХ-фильтра. Действительно, усредняющие КИХ-фильтры используются для реализации т.н. алгоритма Фурье. Но их применение этим не ограничивается.

– Отмечая оригинальность предложенного автором алгоритма измерения комплексных амплитуд напряжений (токов) с частотной коррекцией на основе реализации обычного преобразования Фурье следует рекомендовать в дальнейшей работе использовать имеющиеся решения со специально синтезированными временными окнами с частотной коррекцией. Это позволит значительно повысить быстродействие и точность измерений.

– Правильнее говорить не о частотных характеристиках АРВ, а о частотных характеристиках отдельных элементов АРВ, являющихся с позиций ТАУ линейными системами.

4. Положительный отзыв от **ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»**, подписанный Антоновым В.И., д.т.н., профессором кафедры теоритических основ электротехники и релейной защиты и автоматики. Отзыв содержит следующие замечания:

– На странице 29 диссертации автор вводит в оборот выражение для расчета комплексного значения электрической величины с помощью фильтра Фурье, а затем на стр. 30 дает формулу (5) его амплитудно-частотной характеристики с целью использования его при коррекции частотной погрешности оценки комплексной амплитуды. Думаю, что автору известно, что приведенная АЧХ фильтра Фурье определяет только зависимость амплитуды ортогональных составляющих от частоты входного сигнала, но не учитывает

влияние сигнала суммарной частоты, присутствующей в определении ортогональных составляющих. Это свидетельствует о том, что автор не знаком с фундаментальными исследованиями чебоксарской школы в области теории ортогональных составляющих, в которых показано:

- ортогональные составляющие позволяют без методической погрешности определять комплексную амплитуду синусоидального сигнала при отклонении частоты сети от номинальной;
- существуют простые методы исключения влияния составляющей боковой (суммарной) частоты при отклонении частоты сети.

– В работе отведено много внимания разработке и внедрению цифровых средств реального времени для испытаний устройств противоаварийного управления. Однако системное и последовательное описание принципов, положенных в основу разработанного комплекса, отсутствует, что не позволяет в полной мере оценить преимущества и возможности разработки.

5. Положительный отзыв от **ООО «НПП Бреслер»**, подписанный Булычевым А.В., д.т.н., техническим директором. Отзыв содержит следующие замечания:

– Имеется ли возможность снятия частотных характеристик измерительных органов современных микропроцессорных средств релейной защиты и противоаварийной автоматики разработанными средствами?

– Какими предельными метрологическими характеристиками входных и выходных преобразователей сигналов обладают разработанные средства программно-аппаратного моделирования?

6. Положительный отзыв от **АО «Силовые машины»**, подписанный Прониным Михаилом Васильевичем, д.т.н., начальником сектора регулируемого промышленного привода отдела проектирования электропровода и комплексных устройств. Отзыв содержит следующие замечания:

В АО «Силовые машины» созданы генераторные установки с синхронными машинами и транзисторными возбудителями. С какими



особенностями связаны испытания транзисторных возбудителей на моделях по сравнению с испытаниями тиристорных систем?

– Усиливаются тенденции внедрения в ЭЭС асинхронизированных машин с трехфазными обмотками возбуждения. К каким изменениям это может привести в системах испытаний транзисторных возбудителей на моделях?

На все вопросы и замечания соискатель дал необходимые пояснения.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их специальностью, трудами, выполненными по тематике диссертации, опубликованными работами и достижениями по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработаны** метод измерения частоты прямой последовательности на основе интегральных преобразований сигналов фазных напряжений, метод измерения напряжения прямой последовательности при частотной коррекции динамических характеристик измерительного органа;

**предложены** способы учета амплитудно-фазовых искажений, вызванных применением инерционных способов и методов измерения, основанных на интегральном преобразовании Фурье;

**создана и внедрена** методика экспериментального определения амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик каналов автоматических регуляторов возбуждения, учитывающая работу измерительных органов параметров электрического режима, испытательный стенд для экспериментального определения характеристик;

**выполнены** экспериментальные исследования частотных характеристик каналов микропроцессорных АРВ серийного производства различных производителей;

**показано**, что декларируемые производителями модели АРВ не отражают динамические свойства действительных устройств вследствие пренебрежения характеристиками измерительного тракта каналов регулирования;

**исследованы** и реализованы в виде программного обеспечения численные методы решения нелинейных дифференциально-алгебраических уравнений переходных процессов силовых турбин, возбудителей и их систем регулирования и противоаварийной автоматики;

**исследованы** свойства разработанных цифровых средств средства моделирования устройств автоматики энергосистем;

**доказана** корректность применения разработанных цифровых средств средства моделирования устройств автоматики энергосистем путем определения экспериментальных частотных характеристик, реализуемых с их помощью моделей;

**реализованы** на физических моделях энергосистем математические модели автоматических регуляторов возбуждения, регуляторов скорости, турбин путем их программно-аппаратного моделирования с помощью разработанных цифровых средств средства моделирования.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

**предложены** быстродействующие модели измерительных органов режимных параметров трехфазной системы, позволяющие выполнять измерения на фиксированном интервале интегрирования;

**предложены** методы учета реализации интегральных преобразований при расчете коэффициентов коррекции при измерении параметров гармонических сигналов периодом, отличным от интервала интегрирования;

**обоснованы** рекомендации по учету динамических свойств разработанных методов измерений;

**предложен** метод расчета частотных характеристик по экспериментальным данным при условии одновременно работающих каналов регулирования.

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

**разработаны и внедрены** программные средства моделирования устройств автоматики энергосистем, позволяющие воспроизводить работу

моделей автоматики энергосистем в режиме реального времени на физических моделях энергосистем;

**разработанные средства использованы** при исследованиях по проверке настройки параметров АРВ Белоярской АЭС, Сургутской ГРЭС-2, Рефтинской ГРЭС, Балаковской АЭС, Нововоронежской АЭС, Пермской ГРЭС на физических моделях энергосистем, а также при определении параметров срабатывания автоматики ограничения повышения частоты на физической модели Калининградской энергосистемы;

**разработаны и внедрены** микропроцессорные средства моделирования устройств автоматики энергосистем, позволяющие воспроизводить работу моделей автоматики энергосистем в режиме реального времени на физических моделях энергосистем.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

**экспериментальные частотные характеристики автоматических регуляторов возбуждения, полученные экспериментально, используются производителями** при сертификации автоматических регуляторов возбуждения сильного действия синхронных генераторов по Стандарту СТО 59012820.29.160.20.001-2012 «Требования к системам возбуждения и автоматическим регуляторам возбуждения сильного действия синхронных генераторов»;

**полученные экспериментально частотные характеристики соответствуют теоретическим** при доподлинном составлении модели и учете всех элементов измерительного тракта устройств;

использованы современные системы разработки программного обеспечения (*RAD STUDIO XE3*), программные комплексы моделирования (*MATLAB*), программно-аппаратные платформы моделирования энергосистем в режиме реального времени (*Real Time Digital Simulator*).

Личный вклад соискателя состоит в:

– обобщении, исследовании и совершенствовании приведенных в работе методов измерений;

- разработке испытательного стенда для экспериментального определения частотных характеристик;
- разработке программного обеспечения цифровых средств моделирования;
- создании структурных схем испытаний для проведения исследований энергосистем с программным и микропроцессорным средствами моделирования устройств противоаварийного управления;
- проведении экспериментальных и теоретических исследований и анализе полученных результатов.

На заседании 01 апреля 2021 года диссертационный совет принял решение присудить Зеленину Александру Сергеевичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 8 докторов наук по специальности 05.14.02 и 6 докторов наук по специальности 05.09.01, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 14, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Заместитель председателя  
диссертационного совета



В.Э. Воротницкий

Ученый секретарь диссертационного совета

Н.Л. Новиков

01 апреля 2021 года

МП