

Протокол № 78
заседания диссертационного совета Д 212.064.02,
созданного при федеральном государственном бюджетном образовательном
учреждении высшего образования «Ивановский государственный
энергетический университет имени В.И. Ленина» (ИГЭУ)

от 10 июня 2022 года

при защите диссертации Снитько Ирины Сергеевны
на тему «Разработка методики расширенного поверочного расчета в САПР
силовых трансформаторов на базе имитационных моделей»
по специальности 05.13.12 – Системы автоматизации проектирования
(электротехника, энергетика)
на соискание ученой степени кандидата технических наук

На заседании присутствовали 15 членов диссертационного совета из 22:

- | | |
|--|----------------------------|
| 1. Тарарыкин Сергей Вячеславович (председатель) | д-р техн. наук, 05.13.06 |
| 2. Тютиков Владимир Валентинович (зам. председателя) | д-р техн. наук, 05.13.06 |
| 3. Копылова Лариса Геннадьевна (ученый секретарь) | канд. техн. наук, 05.13.06 |
| 4. Анисимов Анатолий Анатольевич | д-р техн. наук, 05.09.03 |
| 5. Виноградов Анатолий Брониславович | д-р техн. наук, 05.09.03 |
| 6. Голубев Александр Николаевич | д-р техн. наук, 05.09.03 |
| 7. Казаков Юрий Борисович | д-р техн. наук, 05.09.03 |
| 8. Колганов Алексей Руфимович | д-р техн. наук, 05.13.12 |
| 9. Коростелев Владимир Федорович | д-р техн. наук, 05.13.06 |
| 10. Косяков Сергей Витальевич | д-р техн. наук, 05.13.12 |
| 11. Пантелеев Евгений Рафаилович | д-р техн. наук, 05.13.12 |
| 12. Ратманова Ирина Дмитриевна | д-р техн. наук, 05.13.12 |
| 13. Тихонов Андрей Ильич | д-р техн. наук, 05.13.12 |
| 14. Целищев Евгений Сергеевич | д-р техн. наук, 05.13.06 |
| 15. Шипко Михаил Николаевич | д-р техн. наук, 05.13.06 |
- а также официальные оппоненты, аспиранты и сотрудники ИГЭУ.

Председательствует на заседании профессор Тарарыкин Сергей Вячеславович.

Председательствующий на основании явочного листа извещает членов Совета о правомочности заседания.

Списочный состав совета 22 человека.

Присутствуют на заседании 15 членов совета из 22, в том числе докторов наук по спец. 05.13.12 - 5. Таким образом, Совет правомочен начать защиту.

Разрешите считать заседание открытым.

Председательствующий объявляет о защите кандидатской диссертации Снитько Ирины Сергеевны на тему «Разработка методики расширенного поверочного расчета в САПР силовых трансформаторов на базе имитационных моделей».

Диссертация принята к защите решением диссертационного совета от 5 апреля 2022 года, протокол № 75.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор **Тихонов Андрей Ильич**, заведующий кафедрой «Физика» ИГЭУ.

Официальные оппоненты:

- **Ковалев Сергей Протасович**, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук», ведущий научный сотрудник;
- **Кобелев Андрей Степанович**, кандидат технических наук, ООО «Инжиниринговый центр «Русэлпром» (г.Владимир), начальник расчетно-теоретического сектора.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)».

Ученый секретарь Копылова Лариса Геннадьевна кратко докладывает об основном содержании представленных документов соискателя и сообщает членам совета, что все документы соответствуют установленным требованиям.

Соискатель излагает основные положения диссертации и отвечает на вопросы членов совета: Казакова Ю.Б., Пантелеева Е.Р., Целищева Е.С., Анисимова А.А., Ратмановой И.Д., Тарарыкина С.В., Виноградова А.Б.

После технического перерыва слово предоставляется научному руководителю Тихонову Андрею Ильичу.

Ученый секретарь оглашает заключение организации, где выполнялась работа, оформленное в виде выписки из протокола № 6 расширенного заседания кафедры «Теоретические основы электротехники и электротехнологии» ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» от 28 февраля 2022 года

Ученый секретарь оглашает отзыв ведущей организации – ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (НИУ)».

Учёный секретарь сообщает присутствующим, что на автореферат диссертации поступило 8 отзывов. Все отзывы положительные:

1. Сарапульский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова»;
2. ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»;
3. АО «Техническая инспекция ЕЭС», г. Москва;
4. ФГБОУ ВО «Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России»;
5. ООО «ЗЭТ Энерго», г. Бронницы;
6. ФГБОУ ВО «Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского»;
7. ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет»;
8. АНО «Научно-исследовательский и образовательный центр «Территория инновационного развития», г. Подольск .

Соискатель отвечает на замечания, содержащиеся в отзыве ведущей организации

и в отзывах на автореферат диссертации.

Выступает официальный оппонент Ковалев С.П. Соискатель отвечает на замечания, содержащиеся в отзыве оппонента.

Выступает официальный оппонент Кобелев А.С. Соискатель отвечает на замечания, содержащиеся в отзыве оппонента.

В дальнейшей дискуссии участвуют члены совета: Казаков Ю.Б., Виноградов А.Б., Тарарыкин С.В.

После заключительного слова соискателя диссертационный совет переходит к тайному голосованию.

Единогласно избирается счетная комиссия из трех членов совета: Казаков Ю.Б., Ратманова И.Д., Целищев Е.С.

После проведения тайного голосования председатель счётной комиссии Ратманова И.Д. оглашает протокол счетной комиссии с результатами голосования:

Состав диссертационного совета утвержден в количестве 22 человек.

Присутствует на заседании 15 членов совета, из них докторов наук по специальности 05.13.12 - Системы автоматизации проектирования (электротехника, энергетика) – 5. Роздано бюллетеней – 15. Осталось нерозданных бюллетеней – 7. Оказалось в урне бюллетеней – 15.

Результаты голосования по вопросу о присуждении ученой степени кандидата технических наук Снитько Ирине Сергеевне подано голосов: «за» – 15, «против» – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Совет открытым голосованием единогласно («за» – 15, «против» – нет) утверждает протокол счетной комиссии и результаты голосования.

Председательствующий поздравляет соискателя Снитько И.С. с присуждением ей ученой степени кандидата технических наук.

Совет переходит к обсуждению проекта заключения.

После обсуждения и внесения редакционных поправок Совет открытым голосованием единогласно (за – 15, против – нет) принимает следующее заключение:

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.064.02,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования «Ивановский
государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК**

решение диссертационного совета от 10 июня 2022 г. № 78

О присуждении **Снитько Ирине Сергеевне**, гражданину России, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка методики расширенного поверочного расчета в САПР силовых трансформаторов на базе имитационных моделей» по специальности 05.13.12 «Системы автоматизации проектирования (электротехника, энергетика)» принята к защите 5 апреля 2022 г. (протокол заседания №75) диссертационным советом Д 212.064.02, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» (ИГЭУ) Минобрнауки России, 153003, г. Ива-

ново, ул. Рабфаковская, 34, приказом № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Снитько Ирина Сергеевна, 7 октября 1989 года рождения.

В 2011 году соискатель окончила государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» по специальности «Электроэнергетические системы и сети».

В 2016 году окончила заочную аспирантуру ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина».

Соискатель работает старшим преподавателем кафедры «Теоретические основы электротехники и электротехнологии» ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре «Теоретические основы электротехники и электротехнологии» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Тихонов Андрей Ильич, ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», заведующий кафедрой «Физика».

Официальные оппоненты:

– Ковалев Сергей Протасович, доктор физико-математических наук, ФГБУН «Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук» (г. Москва), ведущий научный сотрудник;

– Кобелев Андрей Степанович, кандидат технических наук, ООО «Инжиниринговый центр «Русэлпром» (г. Владимир), начальник расчетно-теоретического сектора дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном Красовским Александром Борисовичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой ФН-7 и Васюковым Сергеем Александровичем, доктором технических наук, профессором кафедры ФН-7, и утвержденном исполняющим обязанности ректора, кандидатом технических наук Гординым Михаилом Валерьевичем, отметила, что результаты диссертационной работы могут быть использованы в проектных организациях и промышленности (ООО «НПК «АВТОПРИБОР», ООО «Трансформер» и других) при проектировании силовых трансформаторов, а также в учебном процессе. Ведущая организация констатировала, что диссертация Снитько И.С. является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно и на высоком научно-техническом уровне. В ней изложены оригинальные научно обоснованные технические решения в области разработки систем автоматизированного проектирования силовых трансформаторов, имеющие существенное теоретическое и практическое значение для развития электротехнической отрасли страны. Обоснованы теоретически, разработаны и экспериментально проверены новые методы расчета параметров, установившихся симметричных, несимметричных и аварийных режимов работы силовых трансформаторов, интегрированные в САПР.

Диссертация отвечает требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней» (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации 24.09.2013 г. № 842), предъявляемым к кандидатским диссертациям, соответствующим специальности 05.13.12. «Системы автоматизации проектирования (электротехника,

энергетика)», а ее автор, Снитко Ирина Сергеевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Соискатель имеет 18 опубликованных работ по теме диссертации общим объемом 21,48 печатных листа, авторский вклад – 4,82 печатных листа, из них 4 статьи опубликованы в рецензируемых изданиях по перечню ВАК РФ, получено свидетельство на программный продукт. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах. Основные результаты диссертационной работы изложены в следующих публикациях:

1. Мартынов В.А., Снитко И.С. Математическая модель несимметричных режимов силовых трансформаторов с использованием понятия комплексной магнитной проницаемости // Вестник ИГЭУ. – 2018. – Вып. № 6. – С. 24-31. DOI: 10.17588/2072-2672.2018.6.024-031 (в статье представлена новая методика определения токов ветвей силового трансформатора, основанная на использовании понятия о комплексной магнитной проницаемости);

2. Вихарев Д.Ю., Снитко И.С., Тихонов А.И. Аналитический расчет индуктивностей рассеяния на основе применения векторного потенциала магнитного поля // Моделирование систем и процессов. – 2021. – №1. – Т.14. – С.4 – 10 (в статье описана методика определения собственных и взаимных индуктивностей изолированных обмоток по полям вне магнитопровода, в том числе и расположенных на разных стержнях, с использованием аналитического расчета магнитного поля);

3. Снитко И.С., Тихонов А.И., Стулов А.В., Мизонов В.Е. Разработка модели переходных режимов с учетом взаимной индуктивности полей рассеяния для реализации цифрового двойника трансформатора // Вестник ИГЭУ. – 2021. – Вып. № 4. – С. 47-56. DOI: 10.17588/2072-2672.2021.4.047-056 (в работе изложены основные особенности и допущения при построении уточненных моделей силовых трансформаторов, позволяющие обеспечить требуемую точность при имитации переходных, в том числе и аварийных, режимов работы. Кроме того, предложены методики определения индуктивностей обмоток по полям вне магнитопровода и, с учетом этих параметров, разработаны имитационные модели трансформаторов).

На диссертацию и автореферат поступило 8 отзывов из организаций: Сарапульский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова» (подписал д-р техн. наук, профессор Г.В. Миловзоров, директор СПИ (филиал) ИЖГУ имени М.Т. Калашникова); ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)» (подписал канд. техн. наук Т.И. Каримов, доцент кафедры САПР); АО «Техническая инспекция ЕЭС», г. Москва (подписал д-р техн. наук Л.А. Дарьян, директор по научно-техническому сопровождению, старший научный сотрудник); ФГБОУ ВО «Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России» (подписал канд. техн. наук, доцент А.В. Топоров, доцент кафедры механики, ремонта и деталей машин (в составе учебно-научного комплекса «Пожаротушение»); ООО «ЗЭТ Энерго», г. Бронницы (подписал канд. техн. наук А.В. Иванов, технический директор); ФГБОУ ВО «Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского», г. Калуга (подписал д-р физ.-мат. наук, профессор М.А. Степович, профессор кафедры физики и математики); ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет», г. Ульяновск (подписал канд. техн. наук, доцент А.В. Тамьяров, доцент кафедры «Измерительно-вычислительные комплексы»); АНО «Научно-исследовательский и образовательный центр «Территория инновационного развития», г. Подольск (подписал канд. техн. наук А.В. Стулов, директор).

Основные замечания, содержащиеся в отзывах, не носят критического характера и

касаются стиля изложения и оформления научных результатов работы, особенностей формирования и применения имитационных моделей силовых трансформаторов, а также критериев оценки достоверности полученных результатов.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их соответствием критериям, предъявляемым пунктами 22, 24 «Положения о присуждении ученых степеней», а также их научно-исследовательской деятельностью и публикационной активностью в области теоретических и экспериментальных исследований, касающихся систем автоматизированного проектирования электротехнических устройств, а также имитационного моделирования этих устройств.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны методика расширенного поверочного расчета, развивающая теорию систем автоматизированного проектирования возможностью использования уточненных имитационных моделей на этапе расширенного поверочного расчета проектируемых устройств для исследования возможных режимов их эксплуатации; имитационная модель силового трансформатора, позволяющая учитывать взаимное влияние магнитных полей за пределами магнитопровода на переходные и установившиеся режимы работы моделируемого устройства; математическая модель для учета влияния несимметрии нагрузки на работу трансформатора в установившихся режимах;

предложен оригинальный подход к учету взаимного влияния обмоток по полям за пределами магнитопровода при создании имитационных моделей силовых трансформаторов, позволяющий более точно описать работу устройства в переходных и установившихся режимах;

доказана перспективность использования в практике проектирования силовых трансформаторов разработанных имитационных моделей данных устройств для анализа на стадии проектирования установившихся и переходных режимов их работы, в том числе с учетом возможной несимметрии нагрузки;

введено новое понятие матрицы индуктивностей обмоток по полям за пределами магнитопровода трансформатора, а также новое понятие расширенного поверочного расчета объекта проектирования.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано существенное влияние на точность имитационного моделирования силовых трансформаторов магнитных полей за пределами магнитопровода;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использованы** современные математические пакеты, в частности, MatLab и Excel, численные методы расчета магнитного поля, в том числе с использованием современных пакетов инженерного анализа, в частности, ElCut, Comsol Multiphysics, EMLib, а также методы теории цепей для создания и исследования имитационных моделей силовых трансформаторов с использованием имитационного пакета MatLab Simulink.

изложены идея разработки цифровых двойников силовых трансформаторов, в частности, цифровых прототипов изделий, основанных на использовании уточненных имитационных моделей, корректируемых по результатам приемо-сдаточных испытаний готовой продукции, силовых трансформаторов с использованием уточненных имитационных моделей, а также идея анализа режимов работы участков электрических сетей, содержащих силовые трансформаторы, с использованием разработанных моделей;

раскрыты проблемы существующих имитационных моделей силовых трансформаторов, особенно многообмоточных, приводящие к некорректности результатов моделирования их работы в переходных режимах и в режиме холостого хода ввиду отсут-

ствия учета взаимного влияния магнитных полей за пределами магнитопровода;

изучены возможность сокращения размерности моделей магнитного поля в трансформаторе, а также влияние элементов конструкции (в частности, бака) трансформатора на распределение магнитного поля за пределами магнитопровода и на параметры имитационной модели устройства.

проведена модернизация существующих имитационных моделей силовых трансформаторов на основе понятия идеального трансформатора, путем внедрения в их состав матрицы индуктивностей обмоток по магнитным полям за пределами магнитопровода;

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

разработаны и внедрены в практику проектирования новая методика расширенного поверочного расчета в ООО «Трансформер» (г. Подольск), содержащая в своей основе методику определения параметров короткого замыкания силового трансформатора, а также –имитационного моделирования установившихся и переходных режимов работы объекта; методика имитационного моделирования динамических режимов работы силовых трансформаторов в ООО «НПК «АВТОПРИБОР» (г. Владимир); в учебный процесс ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» - математическая модель расчета установившихся симметричных, несимметричных и аварийных режимов работы силового трансформатора, на основании которой разработаны практические занятия по преподаваемым дисциплинам;

определены перспективы применения разработанных методик и моделей для создания цифровых двойников силовых трансформаторов, в частности, цифровых прототипов изделий, основанных на использовании уточненных имитационных моделей, корректируемых по результатам приемо-сдаточных испытаний готовой продукции, силовых трансформаторов, позволяющих анализировать режимы их работы как на этапе проектирования в составе САПР, так и на этапе эксплуатации, в том числе и в составе электрических сетей;

создана подсистема расширенного расчета САПР силовых трансформаторов, в основу которой заложены разработанные в диссертации алгоритмы, модели и методики, в том числе алгоритм параметрической генерации модели магнитного поля за пределами магнитопровода, методики расчета параметров имитационной модели трансформатора, собственно имитационная модель трансформатора и методика расширенного поверочного расчета трансформатора на основе данной имитационной модели;

представлены предложения по дальнейшему совершенствованию имитационных моделей и доработке их до полнофункциональных цифровых двойников силовых трансформаторов.

Оценка достоверности результатов исследований выявила:

экспериментальные результаты апробации получены с использованием методик, определяемых государственными стандартами в условиях сертифицированной производственной испытательной лаборатории;

теория построена на известных и широко применяемых методах исследования магнитного поля и имитационного моделирования; данные, полученные по результатам имитационного моделирования, согласуются с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;

идея базируется на обобщении опыта проектирования силовых трансформаторов с применением систем автоматизированного проектирования, а также на современных достижениях теории численного моделирования технических устройств на основе теории поля и теории цепей;

использованы данные, полученные по методике определения параметров короткого замыкания, разработанной с участием автора, в сравнении с данными по широко распространенным апробированным методикам;

установлено качественное и количественное в пределах погрешности совпадение результатов исследований автора на имитационных моделях с результатами приемосдаточных испытаний силовых трансформаторов;

использованы нормативные методики сбора и обработки экспериментальных данных с обоснованием подбора объектов наблюдения.

Личный вклад соискателя состоит в разработке методики расчета параметров короткого замыкания силового трансформатора, имитационной модели и математической модели силового трансформатора, методик исследования влияния параметров объекта на режимы работы электрической сети, в разработке и отладке программного обеспечения подсистемы расширенного поверочного расчета САПР силового трансформатора, подготовке публикаций по тематике исследования, апробации результатов исследования.

В ходе защиты диссертации критических замечаний, подвергающих сомнению научную новизну и практическую ценность результатов диссертационных исследований, не поступило.

На заседании 10 июня 2022 г. диссертационный совет принял решение за новые научно обоснованные технические и технологические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны, присудить Снитько И.С. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 5 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: «за» – 15, «против» – нет, недействительных бюллетеней – нет.

На этом заседании считается закрытым.

Председатель
диссертационного совета

Тарарыкин Сергей Вячеславович

Ученый секретарь
диссертационного совета

Копылова Лариса Геннадьевна

Подписи Тарарыкина С.В. и Копыловой Л.Г.
заверяю, Ученый секретарь
Совета ИГЭУ



Ширяева Ольга Алексеевна