

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.347.05,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» МИНОБРНАУКИ РФ, ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

Решение диссертационного совета от 25 декабря 2025 г. протокол № 4
о присуждении Иванову Дмитрию Михайловичу, гражданину Республики
Казахстан, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация на тему «Моделирование и анализ переходных процессов при
ограничении тока короткого замыкания в электроэнергетической системе с
высокотемпературным сверхпроводящим трансформатором» по специальности
2.4.3 – Электроэнергетика принята к защите 17 октября 2025 г. (протокол
заседания № 10) диссертационным советом 24.2.347.05, созданным на базе
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Новосибирский государственный технический
университет», Минобрнауки РФ, 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
приказ о создании диссертационного совета №525/нк от 24.03.2023 г.

Соискатель Иванов Дмитрий Михайлович, «30» января 1996 года
рождения. В 2020 году соискатель окончил Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский
государственный технический университет» по направлению 13.04.02 –
«Электроэнергетика и электротехника», присуждена степень «Магистр». В 2024
году Иванов Д.М. завершил обучение в очной аспирантуре Федерального
государственного бюджетного образовательного учреждения высшего
образования «Новосибирский государственный технический университет»,
Минобрнауки РФ, по направлению 13.06.01 – «Электро- и теплотехника»
(профиль: Электрические станции и электроэнергетические системы), выдан

диплом об окончании аспирантуры с присвоением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь», нормативный период обучения с 01.09.2020 г. по 31.08.2024 г.

С 2022 года Иванов Д.М. по настоящее время работает в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» на кафедре систем электроснабжения предприятий, в настоящий момент, в должности старшего преподавателя.

Диссертация выполнена на кафедре систем электроснабжения предприятий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Минобрнауки РФ.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Манусов Вадим Зиновьевич, основное место работы - Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Югорский государственный университет», политехническая школа, профессор, место работы по совместительству - Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», кафедра систем электроснабжения предприятий, профессор.

Официальные оппоненты:

Горюнов Владимир Николаевич, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет», г. Омск, профессор кафедры электроснабжения промышленных предприятий;

Булатов Юрий Николаевич, кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Братский государственный университет», г. Братск, заведующий кафедрой энергетики

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань, **в своем положительном отзыве**, подписанном заведующим кафедрой электроснабжения промышленных предприятий, кандидатом технических наук, доцентом Петровым Тимуром Игоревичем и профессором кафедры электроснабжения промышленных предприятий, доктором технических наук, ученым секретарем кафедры электроснабжения промышленных предприятий, профессором Грачевой Еленой Ивановной, и утвержденном доктором технических наук, профессором, проректором по науке и коммерциализации Ившиным Игорем Владимировичем, указала, что: диссертация Иванова Дмитрия Михайловича является законченной научно-квалификационной работой, в которой представлено решение актуальной задачи по исследованию влияния токоограничивающей функции высокотемпературных сверхпроводящих трансформаторов на переходные процессы в электроэнергетической системе и устойчивость работы синхронных генераторов, имеющей существенное значение для электроэнергетики. Диссертационная работа представляет собой целостное самостоятельное исследование, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения. Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации. Диссертация Иванова Д.М. соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, изложенным в п.п. 9 — 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Иванов Дмитрий Михайлович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.4.3. Электроэнергетика.

Соискатель имеет 14 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 14 работ, из них 2 статьи в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень рекомендованных ВАК РФ, 6 статей в научных

изданиях, индексируемых в базах Scopus /Web of Science. Получены 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Недостоверные сведения об опубликованных работах отсутствуют. Авторский вклад в опубликованных в соавторстве работах составляет не менее 65 %. Общий объём научных изданий – 7 п.л.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

Научные статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК

1. Иванов Д.М. Электротепловые переходные процессы в сети с высокотемпературным сверхпроводящим трансформатором с функцией токоограничения / В.З. Манусов, Д.М. Иванов // Электричество. – 2022. – №1. – С. 9-17.

2. Иванов Д.М. Определение основных параметров высокотемпературного сверхпроводящего трансформатора с функцией токоограничения / Манусов В.З., Иванов Д.М., Семенов А.В., Боруш О.В. // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2021. – Т. 13. - №3(51). – С. 25-38.

Публикации в журнальных научных изданиях и сборниках материалов научных конференций, индексируемых в базе данных Scopus / Web of Science

3. Ivanov D.M. Modeling and Experimental Study of the Inrush Current of a High Temperature Superconducting Transformer / Manusov V.Z., Ivanov D.M., Ivanova E.V. // Problems of the Regional Energetics. 2024. – Vol. 62. – No 2. P. 46-56.

4. Ivanov D.M. Study of Electromagnetic and Thermal Transients in a High-temperature Superconducting Transformer during a Short Circuit / Manusov V.Z., Ivanov D.M. // Problems of the Regional Energetics. 2023. – Vol. 58. – No 2. P. 1-12.

5. Ivanov D.M. Methodology for determining the parameters of high-temperature superconducting power transformers with current limiting function / Manusov V.Z., Ivanov D.M., Semenov A.V., Ivanov G.V. // International Journal of Electrical and Computer Engineering. – 2023. – Vol. 13. – N(1). – P. 238-248.

6. Ivanov D. M. Analysis of Transient Processes in a Three-Phase Single-Machine System with a High- Temperature Superconducting Transformer / V. Z.

Manusov, D. M. Ivanov, A. V. Semenov // 2021 Ural-Siberian Smart Energy Conference (USSEC), Novosibirsk, Russia, 13-15 November 2021, pp. 13-18.

7. Ivanov D. M. Experimental Studies of a High-temperature Superconducting Prototype Transformer with Current Limiting Function / D. M. Ivanov, V. Z. Manusov, A. V. Semenov // 2020 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), Moscow, Russia, 12-14 March 2020, DOI: 10.1109/REEPE49198.2020.9059233. P. 97-102.

8. Ivanov D. M. Analyses of Electrical Parameters of Power Transformers with Superconducting Windings / Ivanov D.M., Manusov V.Z., Nazarov M.K. // 20th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, EDM 2019: Erlagol, Altai, 29 June – 3 July 2019. – P. 547-551.

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:

1. Иванов Д. М. Свидетельство №2024685363. РФ. Программа расчета электромагнитных и тепловых переходных процессов в высокотемпературном сверхпроводящем трансформаторе при коротком замыкании в электрической сети / Д.М. Иванов, В.З. Манусов. Дата гос. регистрации 30.10.2024.

2. Иванов Д. М. Свидетельство №2025618801. РФ. Программа расчета электромеханических и тепловых переходных процессов в электроэнергетической системе, включающей в себя высокотемпературный сверхпроводящий трансформатор при коротком замыкании в электрической сети / В.З. Манусов, Д.М. Иванов. Дата гос. регистрации 12.08.2025.

На автореферат диссертации поступило 13 отзывов, все отзывы положительные:

1. **БУ ВО Ханты-Мансийского автономного округа-Югры «Сургутский государственный университет»,** доцент кафедры радиоэлектроники и электроэнергетики, к.т.н., доцент Кислицин Е. Ю., доцент кафедры радиоэлектроники и электроэнергетики, к.т.н., доцент Бигун А. Я. *Вопросы и замечания:* 1) о влиянии критического тока ВТСП ленты на эффективность ограничения ударного тока КЗ; 2) о необходимости учета трех типов переходных процессов.

2. **НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», Республика Казахстан**, руководитель группы образовательных программ «Электротехника и автоматизация», к.т.н., доктор PhD Умурзакова А. Д. *Замечание:* об отсутствии учета влияния несимметричных коротких замыканий на переходные процессы.

3. **ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», профессор кафедры «Электроснабжение» Физико-технического института, доктор технических наук, профессор Бурянина Н. С., доцент кафедры «Электроснабжение» Физико-технического института, к.т.н. Местников Н. П. Вопросы и замечания:** 1) о главном преимуществе ВТСП трансформаторов; 2) и 3) о применимости ВТСП трансформаторов в условиях высоких (+30 °С и более) и низких (-35 °С и менее) температур окружающей среды.

4. **Омский институт водного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта», профессор кафедры электротехники и электрооборудования, доктор технических наук, доцент Хацевский К. В., доцент кафедры электротехники и электрооборудования, к.т.н. Антонов А. И. Вопросы и замечания:** 1) об отсутствии в автореферате зависимости влияния геометрических параметров обмоток, магнитной системы и криостата на ограничение токов КЗ и температуру обмоток; 2) об условиях эксперимента при включении прототипа ВТСП трансформатора под нагрузкой; 3) о применимости разработанных программ для ЭВМ; 4) о представлении в имитационной модели шин бесконечной мощности.

5. **Филиал ФГКВОУ ВО «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева» МО РФ, доцент 5 кафедры электрооборудования и автоматики, к.т.н., доцент Сидоренко А. А. Вопросы и замечания:** 1) о применимости разработанных программ для ЭВМ для решения разработанной математической модели; 2) о возможности контроля динамической устойчивости генератора в ЭЭС.

6. ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», доцент кафедры электротехники Уральского энергетического института, к.т.н., доцент Ерошенко С. А. *Вопросы и замечания:* 1) о необходимости учета большей вариативности сценариев экспериментов и моделирования; 2) о возможности интеграции разработанных программ в существующие программные комплексы расчета режимов энергосистем.

7. ФГБОУ ВО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления», доцент кафедры электроснабжения промышленных предприятий и сельского хозяйства, к.т.н., доцент Александров Н. В. *Вопросы и замечания:* 1) об отсутствии в автореферате зависимости критического тока сверхпроводника от температуры; 2) о методах защиты ВТСП обмоток от перегрева; 3) об условиях измерения времени нахождения обмоток в резистивном состоянии.

8. АО ПКИ «Промстройпроект», главный инженер проекта, к.т.н., доцент Иванов Г. В. *Замечание:* об отсутствии ограничений применения и особенностей моделей для сетей 330 кВ и выше.

9. Филиал ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» в г. Белебее Республики Башкортостан, заведующий кафедрой «Инженерные технологии» к.т.н., доцент Цынаева А. А., доцент кафедры «Инженерные технологии», директор филиала ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» в г. Белебее Республики Башкортостан, к.т.н. Инаходова Л. М. *Вопросы и замечания:* 1) о величине погрешности физического моделирования; 2) об отсутствии в автореферате параметров и критериев оценки адекватности математической модели.

10. ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики», доцент кафедры «Техническая электроника», к.т.н. Смоленцев Н. И. *Вопросы и замечания:* 1) о координации ВТСП трансформатора с релейной защитой; 2) об ограничениях применимости

ВТСП трансформатора; 3) об отсутствии технико-экономического анализа применения ВТСП трансформатора.

11. **НАО «Торайгыров университет», Республика Казахстан**, профессор кафедры «Электроэнергетика», доктор технических наук, профессор Новожилов А. Н. *Вопросы и замечания:* 1) о возможности применения разработанных моделей в более сложных системах; 2) об эффективности ограничения токов в зависимости от типа КЗ; 3) о применимости и ограничениях модели в системах большей мощности.

12. **ФГБУН «Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева» Сибирского отделения Российской академии наук**, старший научный сотрудник отдела электроэнергетических систем, к.т.н., доцент Войтов О. Н. *Вопросы и замечания:* 1) об отсутствии описания конструкции физической модели; 2) об отсутствии расчета динамической индуктивности; 3) о способе учета индуктивности обмоток.

13. **ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»**, доцент кафедры «Электроэнергетика и электротехника», к.т.н. Садовская Л. В. *Вопросы и замечания:* 1) о влиянии ВТСП трансформатора на динамическую устойчивость системы; 2) о режимах нагрева ВТСП обмоток.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что доктор технических наук, профессор **Горюнов Владимир Николаевич** является ведущим специалистом в области анализа режимов электроэнергетических систем и устройств, а также их математического и имитационного моделирования, имеет большое количество публикаций по тематике диссертационной работы; сфера научных интересов и тематика исследований кандидата технических наук, доцента **Булатова Юрия Николаевича** связана с исследованием установившихся режимов и устойчивости электроэнергетических систем, управлением системами электроснабжения, он имеет значительное количество публикаций, по тематике представленной диссертационной работы.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань – один из крупнейших ВУЗов, в котором передовыми направлениями научных исследований являются теоретические и прикладные задачи моделирования электрических систем и расчет их режимов работы, разработка и исследование устройств и систем ограничения тока короткого замыкания, в том числе на основе явления сверхпроводимости, что подтверждается научными трудами ведущих ученых и сотрудников университета и кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий».

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана новая методика анализа переходных процессов в электроэнергетической системе и тепловых процессов в обмотках высокотемпературного сверхпроводящего трансформатора, позволяющая выявить основные условия безопасного и эффективного ограничения максимального тока короткого замыкания с помощью высокотемпературного сверхпроводящего трансформатора, а также обеспечить условия повышения динамической устойчивости параллельной работы генераторов в энергосистеме;

предложена оригинальная комплексная математическая модель расчета электромеханических переходных процессов в электроэнергетической системе и тепловых процессов в обмотках высокотемпературного сверхпроводящего трансформатора, учитывающая основные электрические, магнитные, механические и тепловые процессы в элементах электрической сети и обмотках трансформатора, особенности охлаждения обмоток жидким азотом;

доказана перспективность использования методики анализа переходных процессов при разработке и проектировании высокотемпературных сверхпроводящих трансформаторов с функцией ограничения тока короткого замыкания, с учетом сохранения тепловой устойчивости его обмоток во время короткого замыкания или включения;

введены новые понятия – не введены.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана необходимость совместного учета электромеханических и тепловых переходных процессов в электроэнергетической системе с высокотемпературным сверхпроводящим трансформатором при анализе процесса ограничения тока короткого замыкания и динамической устойчивости параллельной работы генераторов в энергосистеме;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы традиционные методы научного исследования, в том числе математического, численного и физического моделирования.

изложены идея и доказательства эффективности применения высокотемпературных сверхпроводящих трансформаторов с целью ограничения тока короткого замыкания и повышения динамической устойчивости параллельной работы генераторов в энергосистеме;

раскрыты и выявлены основные факторы возникновения недопустимых перегревов высокотемпературных сверхпроводящих обмоток пусковыми токами трансформатора или токами короткого замыкания в электрической сети;

изучены причинно-следственные связи, определяющие зависимость эффективности ограничения тока короткого замыкания от показателя нелинейности вольт-амперной характеристики обмоток высокотемпературного сверхпроводящего трансформатора;

проведена модернизация математического описания электромагнитных, электромеханических и тепловых переходных процессов в электроэнергетической системе с высокотемпературным сверхпроводящим трансформатором, обеспечивающая повышение точности и достоверности расчета путем комплексного моделирования этих процессов и получения новых результатов по теме диссертации.

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

разработаны и внедрены технические решения, обеспечивающие повышение точности и достоверности расчета электромагнитных и электромеханических переходных процессов в электроэнергетической системе с высокотемпературным сверхпроводящим трансформатором при коротком замыкании в электрической сети;

определены перспективы практического применения высокотемпературных сверхпроводящих трансформаторов с функцией ограничения тока в распределительных электрических сетях класса напряжения 6-10 кВ;

создана система практических рекомендаций по применению моделей энергосистем с высокотемпературными сверхпроводящими трансформаторами для моделирования и анализа электромеханических и тепловых переходных процессов в них;

представлены практические рекомендации для определения основных параметров высокотемпературных сверхпроводящих трансформаторов на основе обоснованных требований к величине плотности тока, напряжению короткого замыкания, магнитной индукции стержня, природе потерь в сверхпроводящих обмотках, а также критических параметров сверхпроводника при проектировании высокотемпературных сверхпроводящих трансформаторов с функцией ограничения токов короткого замыкания.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ применялось сертифицированное и поверенное оборудование, внесенное в реестр средств измерений, а также разработанные программные средства, имеющие государственную регистрацию программ для ЭВМ, сопоставление экспериментальных данных и результатов численного моделирования;

теория построена на использовании основных положений теоретических основ электротехники, электромагнетизма, термодинамики и математического анализа. Достоверность разработанных моделей подтверждается: экспериментами на математической и физической моделях энергосистемы, включающей в себя высокотемпературный сверхпроводящий трансформатор,

совпадением полученных результатов с результатами опубликованных исследований других авторов;

идея базируется на анализе практики и обобщении передового опыта в области разработки высокотемпературных сверхпроводящих трансформаторов и анализе их влияния на режимы и устойчивость энергосистемы;

использованы данные современных исследований, опубликованные в отечественных и зарубежных журналах, по моделям и прототипам высокотемпературных сверхпроводящих трансформаторов, а также по методам моделирования и расчета переходных процессов в электроэнергетической системе при коротком замыкании и нарушении динамической устойчивости синхронных генераторов;

установлено качественное совпадение результатов, полученных автором, с результатами, представленными в независимых научных изданиях по данной тематике;

использованы современные методики сбора и обработки исходной информации, современные способы компьютерного моделирования, методы сбора и анализа информации, полученной в результате физических экспериментов, посредством современного сертифицированного измерительного оборудования и специализированного программного обеспечения для обработки данных.

Личный вклад соискателя состоит: в постановке совместно с руководителем задач научного исследования, разработке математических моделей, реализации алгоритмов в программно-вычислительных комплексах, проведении натурных экспериментов, анализе результатов, проверке достоверности исследований, а также подготовке основных публикаций по теме диссертации.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания: Недостаточно полно освещены ограничения и особенности применения разработанных математических моделей для электрических сетей классов напряжения 10 – 220 кВ; Не представлен технико-экономический анализ

применения ВТСП трансформаторов с функцией ограничения тока короткого замыкания в сравнении с традиционными ограничителями тока или трансформаторами; При анализе влияния ВТСП трансформатора на динамическую устойчивость параллельной работы синхронных генераторов, следовало рассматривать более сложные электроэнергетические системы, например при наличии двух синхронных генераторов или при параллельной работе ВТСП трансформаторов. Соискатель Иванов Д.М. аргументировано ответил на замечания и все заданные ему в ходе заседания вопросы.

Диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития электроэнергетических систем, и соответствует пп. 9-14 Положения о присуждении учёных степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

На заседании 25 декабря 2025 г. диссертационный совет принял решение за разработку модели расчета и анализа переходных процессов в электроэнергетической системе с высокотемпературным сверхпроводящим трансформатором при ограничении тока короткого замыкания, имеющую существенное значение для развития электроэнергетики, присудить Иванову Дмитрию Михайловичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 8 человек, из них 7 докторов наук по специальности защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из 11 человек, входящих в состав совета, дополнительно введенных на разовую защиту нет, проголосовали: «за» - 8, «против» - нет, недействительных бюллетеней нет.

Председатель диссертационного с

А.Г. Фишов

Ученый секретарь диссертационно

..А. Осинцев

25 декабря 2025 г.