

**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 НАУК**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 19 марта 2020 г. № 3

О присуждении Гришину Николаю Васильевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Расчетное и экспериментальное определение индуктивных сопротивлений шестифазных турбогенераторов для анализа переходных процессов» по специальности 05.09.01 – «Электромеханика и электрические аппараты» принята к защите 16.01.2020 (протокол заседания № 1) 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 Гришин Николай Васильевич, 1986 года рождения, в 2009 году окончил Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» по специальности «Электротехника, электромеханика и электротехнологии». С 2015 по 2018 год для написания диссертации был прикреплен к Федеральному государственному автономному образовательному учреждению высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого». С 2008 года

по настоящее время работает в публичном акционерном обществе «Силловые машины», в настоящее время главным специалистом отдела проектирования турбогенераторов.

Диссертация выполнена на кафедре «Теоретическая электротехника и электромеханика» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого».

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Коровкин Николай Владимирович, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», профессор высшей школы высоковольтной энергетики института энергетики.

Официальные оппоненты:

Антипов Виктор Николаевич, доктор технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник лаборатории химических проблем энергетики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт химии силикатов им. И.В.Гребенщикова Российской академии наук (ИХС РАН);

Ватаев Андрей Сергеевич кандидат технических наук, доцент кафедры «Электротехника и теплоэнергетика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Псковский государственный университет», г. Псков, в своем положительном отзыве, подписанном Плоховым Игорем Владимировичем – д.т.н., доцентом, профессором кафедры электроэнергетики, электропривода и систем автоматизации и утвержденным проректором по научной работе, д.б.н.,

Анталом Тарасом Корнелиевичем указала, что диссертационная работа соответствует требованиям пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013, предъявляемым к квалификационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Гришин Николай Васильевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 – «Электромеханика и электрические аппараты».

Соискатель имеет 8 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 5 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 3 работы.

**В рецензируемых журналах из перечня ВАК:**

1. Гришин Н.В. Уравнения режимных задач шестифазных турбогенераторов предельной мощности. // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2016. № 2 (243). С.16–23.

2. Гришин Н.В. Схемы замещения для решения режимных задач шестифазных турбогенераторов предельной мощности. // Научно-технические ведомости СПбГПУ, 2016, №2 (243). С.62-71.

3. Гришин Н.В. Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора шестифазного турбогенератора предельной мощности // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Естественные и инженерные науки, 2017, Т. 23, № 4. С. 40–47.

**В других изданиях:**

4. Гришин Н.В. Анализ схем замещения шестифазных турбогенераторов в режимах коротких замыканий // Аннотации докладов III конференции молодых специалистов ПАО «Силовые машины», г. Санкт-Петербург, 2013. С.47.

5. Гришин Н.В. Шестифазные турбогенераторы для атомных энергоблоков предельной мощности // Тезисы выступлений VII научно-практической конференции молодых ученых и специалистов атомной

отрасли «КОМАНДА 2017», г. Санкт-Петербург, 2017. С.128-130.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах. Все публикации выполнены автором единолично.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Положительный отзыв от **ПАО «Федеральная сетевая компания Единой энергетической системы»**, подписанный Воденниковым Д.А., Заместителем Председателя Правления – главным инженером. Отзыв содержит следующие замечания:

- В ноябре 2016 года на Нововоронежской АЭС-2 в рамках опытно-промышленной эксплуатации был аварийно отключен ТГ 1200 МВт из-за короткого межфазного замыкания в обмотке статора (данные из открытых источников). Учитывая направленность работы, целесообразно смоделировать его развитие с использованием разработанного математического описания и сопоставить данные.
- Целесообразно опубликовать результаты работы в рамках одного из федеральных журналов, например, «Электрические станции» или «Энергетик», ввиду явной актуальности рассматриваемой тематики и необходимости доведения ее результатов до широкого круга специалистов.

2. Положительный отзыв от **АО «Атомэнергопроект»**, подписанный Беспаловым А.В., главным инженером по электротехнике БКП-3. Отзыв содержит следующие замечания:

- Не произведено сравнение результатов расчёта токов короткого замыкания, выполненных по предлагаемой в диссертационной работе модели, для генераторов ТЗВ-1200-2АУЗ, установленных на НВО АЭС-2 и ЛАЭС-2, с реальными значениями токов короткого замыкания имевшие место быть при вводе этих блоков в эксплуатацию.
- Не отмечено, существуют ли особенности, определяемые индуктивными сопротивлениями шестифазного турбогенератора, при прохождении переходных процессов в энергосистеме.

3. Положительный отзыв от **ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»**, подписанный Шевченко А.Ф., д.т.н., профессором, заведующим кафедрой «Электромеханика»; Топорковым Д.М., к.т.н., доцентом кафедры «Электромеханика». Отзыв содержит следующие замечания:

- При выборе относительных единиц исследуемый шестифазный турбогенератор «рассматривается в качестве эквивалентного трёхфазного». При этом автор не даёт пояснений, что понимается под эквивалентным трёхфазным генератором.
- Не представлены допущения, принятые при разработке предложенной математической модели.
- В пояснениях к третьей главе диссертации не представлены полученные выражения для расчета индуктивных сопротивлений.
- На странице 1 автореферата говорится, что «остальные используемые в математической модели параметры не отличаются от традиционных для трехфазных машин». На основании чего сделан такой вывод?
- В пояснениях к седьмой главе диссертации не представлена структурная схема, реализованная в приложении Simulink программного комплекса Matlab.

4. Положительный отзыв от **АО «Научно-технический центр Единой энергосистемы»**, подписанный Смоловицом С.В., д.т.н., профессором, заместителем заведующего отделом проектирования и развития энергосистем; Лямовым А.С., старшим инженером отдела проектирования и развития энергосистем. Отзыв содержит следующие замечания:

- Выполнялись ли сопоставительные расчеты с распространенной моделью генератора с расщепленной обмоткой статора в виде двух независимых генераторов?
- Как выполнялось экспериментальное определение приведенной в таблице 1 величины сверхпереходного сопротивления по продольной

оси  $x''_d$  – при номинальном или пониженном напряжении статора?

5. Положительный отзыв от **ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет»**, подписанный Янченко А.В., к.т.н., доцентом кафедры «Электромеханика». Отзыв содержит следующие замечания:

- В 3-й главе представлены зависимости  $X_\sigma$  от сокращения шага обмотки. Известно, что сокращение шага влияет на состав высших гармоник в зазоре. Не ясно, чем обоснован выбор диапазона коэффициента шага от 0,8 до 1,0.
- В 7 главе приводятся графики токов К.З. на основе полученных ранее операторных уравнениях. Однако сами уравнения в автореферате не представлены.
- В работе не представлены документы внедрения результатов исследований, например, в ПАО «Силловые машины».

6. Положительный отзыв от **ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»**, подписанный Казаковым Ю.Б., д.т.н., проф., заведующим кафедрой электромеханики. Отзыв содержит следующие замечания:

- При выборе относительных единиц шестифазный генератор рассматривается в качестве эквивалентного трехфазного. Для сохранения соотношений между величинами за базисный ток принимается удвоенный амплитуды номинальный фазный ток, базисное сопротивление статора в таком случае в два раза, меньше обычно принимаемого для трехфазных машин. Но любое преобразование координат справедливо только для линейного случая, равномерного зазора и без учета зубчатости. Оценка погрешности преобразования не приведена.
- При преобразовании электроэнергии от шестифазной обмотки турбогенератора к трехфазной системе промышленной сети появляются параллельные контуры, распределение токов в которых



определяется разностью активных и индуктивных сопротивлений в двух трехфазных обмотках статора турбогенератора. Не показано насколько могут отличаться сопротивления параллельных контуров.

7. Положительный отзыв от филиала ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске, подписанный Рожковым В.В., к.т.н., доцентом, заведующим кафедрой «Электромеханические системы», Крутиковым К.К., к.т.н., доцентом, доцентом кафедры «Теоретические основы электротехники». Отзыв содержит следующие замечания:

- Формулировки цели настоящей работы не вполне корректны. Было бы лучше сделать акцент на уточнение существующих способов определения параметров с целью приближения результатов расчетов и математического моделирования к результатам натурных испытаний реальной машины.
- Постановка задач также могла бы быть отредактирована для устранения присущей ей в автореферате неоправданной фундаментальности.
- Уравнения шестифазной машины (1) рассматривают только одну из двух систем звезд. Взаимосвязь двух систем учитывается лишь токами, в то время как в переходных режимах она будет проявляться и в напряжениях.
- В работе подробно рассматриваются способы аналитического и экспериментального определения индуктивных сопротивлений, включая переходные и сверхпереходные по продольной оси « $d$ ». Однако, из автореферата не ясно, проводились ли автором соответствующие оценки для индуктивных сопротивлений по поперечной оси « $q$ »? Если нет, то как, в таком случае, пользоваться средствами компьютерного моделирования Matlab Simulink и Simpowersystems при так называемых «фундаментальном» (наиболее полном) и «стандартном» описании синхронной машины в этом

пакете?

8. Положительный отзыв от **ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»**, подписанный Пластуном А.Т., д.т.н., проф., профессором кафедры «Электрические машины» Уральского энергетического института. Отзыв содержит следующие замечания:

- На стр.5 автореферата автор пишет: «Целью настоящей диссертации является разработка способов расчетного и экспериментального определения индуктивных параметров, свойственных шестифазным турбогенераторам и позволяющих с помощью соответствующей математической модели выполнять анализ широкого спектра переходных процессов и установившихся режимов для обеспечения и повышения работоспособности и надежности эксплуатации данного класса электрических машин». Однако в автореферате нет раздела, где бы учитывалось взаимное влияние трехфазных систем обмотки статора шестифазного турбогенератора на насыщенные значения индуктивных сопротивлений.
- На стр.24 автореферата автор пишет: «Отмечено, что токи короткозамкнутой системы увеличиваются, а токи системы, включенной на сеть, способствуют увеличению всплесков токов короткого замыкания и длительности переходного процесса, что объясняется взаимным влиянием трехфазных систем». Возникает вопрос: существует ли влияние на величину возбуждения в номинальном и форсировочном режимах работы ТГ по сравнению со случаем, когда обмотка статора ТГ выполнена в трехфазном исполнении?
- Какое исполнение согласующего с сетью трансформатора наиболее перспективно для 6-фазного ТГ: в виде трехстержневого трехобмоточного трансформатора, в виде двух двухобмоточного исполнения или в виде трех однофазных трехобмоточных



трансформаторов?

9. Положительный отзыв от **ЗАО «СуперОКС»**, подписанный Самойленковым С.В., к.х.н., генеральным директором; Калиткой В.С., к.х.н., руководителем лаборатории электродвижения, Корнеевым В.В., к.т.н., инженером 1 категории. Отзыв содержит следующие замечания:

- К сожалению, в автореферате не представлены результаты анализа численного расчета картины электромагнитного поля, на которые ссылается автор и которые подтверждают найденные аналитически электромагнитные параметры.
- Предложено несколько экспериментальных способов определения исследуемых параметров, однако в автореферате не указано, какие являются наиболее предпочтительными.

10. Положительный отзыв от **ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»**, подписанный Киселевым А.В., к.т.н., доцентом отделения электроэнергетики и электротехники инженерной школы энергетики. Отзыв содержит следующие замечания:

- При описании поставленных задач в автореферате диссертации автор указывает на применение в своей работе численного проектирования, в том числе расчета электромагнитного поля методом конечных элементов. При этом в автореферате далее это никак не отражено. Вместо этого автор ссылается на программный продукт Matlab Simulink в котором не может быть применен метод конечных элементов.
- Из текста автореферата не понятно возможно ли применение предложенной автором математической модели для других моделей шестифазных генераторов схожей мощности.

11. Положительный отзыв от **Аналитического Центра безопасности оборудования и ГТС Филиала АО «Институт Гидропроект» - «НИИЭС»**, подписанный Кузьмичёвым В.А., к.т.н., заместитель директора. Отзыв

содержит следующие замечания:

- Приведены зависимости индуктивного сопротивления рассеяния обмотки статора и его составляющих от коэффициента укорочения шага обмотки. В то же время отсутствуют выводы о предпочтительном выборе этого параметра с точки зрения прохождения переходных процессов.
- Требуется пояснения, каким образом учитывалось регулирование возбуждения турбогенератора при моделировании переходных процессов.
- Не понятно почему в работе наряду с традиционным термином «коэффициент укорочения шага обмотки» используется неиспользуемый в литературе термин «коэффициент сокращения шага обмотки».

12. Положительный отзыв от **ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»**, подписанный Фоминых А.А., к.т.н., заведующим кафедрой электрических машин и аппаратов им. А.С.Большева; Шестаковым А.В., к.т.н., доцентом, доцентом кафедры ЭМА. Отзыв содержит следующие замечания:

- Какими методами определялись синхронные индуктивные сопротивления  $x_{d(3)}$  и  $x_{d(6)}$  в режиме с разомкнутыми обмотками и в режимах установившегося трехфазного (и, соответственно, шестифазного) короткого замыкания?
- Насколько, на взгляд автора, будет оправдано применение шестифазных синхронных генераторов средней мощности по сравнению с трехфазными (например, в системах электроснабжения летательных аппаратов)?

13. Положительный отзыв от **ООО «Турбинные технологии ААЭМ»**, подписанный Кади-Оглы Е.Ф., к.т.н., главным конструктором турбогенераторов службы главного конструктора. Отзыв содержит следующие замечания:

- В описании главы 2 указано, что для математического описания шестифазного турбогенератора сформированы уравнения в осях  $d, q$ . На самом деле данная координатная система формулируется как  $d, q, 0$ .
- В уравнениях напряжений для продольного и поперечного контуров обмотки статора  $u_{dl}$  и  $u_{ql}$ , входящих в систему уравнений шестифазного турбогенератора (1), представленную в описании главы 2, опечатка в знаке перед составляющими  $ri_{dl}$  и  $ri_{ql}$ .
- На странице 10 автореферата указано, что  $m_t$  – момент турбины. Данный момент должен также учитывать потери холостого хода машины.
- Сопоставляя данные рисунка 1 и таблицы 2 автореферата, понятно, что принятый шаг укорочения обмотки статора исследуемого шестифазного турбогенератора составляет  $5/6$ , что обычно принимается для трехфазных якорей машин переменного тока с целью снижения 5 и 7 гармоник МДС обмотки статора. Чем определен выбор такой величины шага, ведь в данном случае указанные гармоники автоматически снижаются за счет шестифазного исполнения обмотки, и логичнее снижать гармоники кратные 11 и 13?

14. Положительный отзыв от **Белорусского национального технического университета**, подписанный Новашем И.В., к.т.н., доцентом, заведующим кафедрой «Электрические станции», Романюком Ф.А., д.т.н., профессором, членом-корреспондентом НАН Беларуси, профессором кафедры «Электрические станции». Отзыв содержит следующее замечание:

- Отмечая в отзыве на автореферат его полноту и грамотное написание, необходимо отметить, что только после ознакомления с самой диссертационной работой соискателя складывается полное представление о серьезной проделанной работе и полученных научных и практических результатах.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их специальностью, трудами, выполненными по тематике диссертации,

опубликованными работами и достижениями по специальности 05.09.01 – «Электромеханика и электрические аппараты»

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработаны** способы расчетного и экспериментального определения индуктивных сопротивлений шестифазных турбогенераторов, используемых для анализа различных переходных процессов и установившихся режимов;

**предложены** подходы и рекомендации по анализу широкого круга различных переходных процессов шестифазных турбогенераторов с использованием индуктивных параметров, определяемых разработанными способами;

**доказана** перспективность использования предложенных подходов для анализа разнообразных переходных процессов и их комбинаций с целью обеспечения работоспособности и надежности эксплуатации шестифазных турбогенераторов;

**введены** новые подходы качественного и количественного анализа переходных процессов шестифазных турбогенераторов с учётом характерных особенностей их протекания и использованием единого набора электромагнитных параметров, обладающих удобством теоретического и экспериментального определения.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

**доказаны** методические положения расчетного и экспериментального определения индуктивных параметров шестифазных турбогенераторов, используемых для анализа переходных режимов;

применительно к проблематике диссертации результативно **использованы:** основные положения теоретической электротехники, классической электромеханики и математического анализа, а также экспериментальных исследований электрических машин;

**изложен** накопленный опыт в решении задач анализа различных переходных процессов шестифазных турбогенераторов и определения используемых при

этом индуктивных сопротивлений;

**раскрыты** особенности существующих методов анализа переходных процессов шестифазных турбогенераторов, сужающие область их применения и вынуждающие использовать различные математические описания со своими наборами индуктивных параметров в зависимости от рассматриваемых режимов;

**изучены** причинно-следственные связи основных влияющих факторов, что позволило сформировать математическую модель шестифазного турбогенератора для анализа переходных процессов и определить набор характеристических индуктивных сопротивлений, разработать способы их расчетного и экспериментального определения;

**проведена модернизация** существующих математических моделей, расчетных и экспериментальных способов, используемых для трехфазных синхронных электрических машин, обеспечивающая получение новых результатов по теме диссертации.

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

**разработаны** способы расчетного и экспериментального определения индуктивных сопротивлений шестифазных турбогенераторов;

**определены** перспективы использования теоретических положений диссертации на практике при проектировании, испытаниях и исследовании переходных процессов шестифазных турбогенераторов;

**создана** система практических рекомендаций, позволяющая определять теоретически и экспериментально индуктивные сопротивления и производить с их использованием анализ различных переходных процессов шестифазных турбогенераторов;

**представлены** методические рекомендации по выполнению экспериментальных исследований шестифазных турбогенераторов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:  
**для экспериментальных работ** в части проверки предложенных

экспериментальных способов результаты получены на натурных образцах серийного оборудования в условиях аттестованного испытательного стенда завода-изготовителя, показана воспроизводимость результатов исследования в условиях промышленных приемо-сдаточных испытаний;

**теория** построена на проверяемых данных, которые получены на основе широко известных математических моделей синхронных электрических машин, и согласуется с результатами, опубликованными в литературе по теме диссертации.

**идея базируется** на обобщении существующего передового опыта; **использованы** научные труды российских и зарубежных специалистов, материалы научно-технических конференций и семинаров, отчёты отраслевых организаций и справочные материалы;

**установлено**, что результаты диссертации качественно и количественно согласуются с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике;

**использованы** современные методы анализа электрических машин, современные математические модели, численные методы в программном комплексе «MATLAB» и методы натурных испытаний.

Личный вклад соискателя состоит в:

- постановке целей и задач исследования;
- обобщении информации о передовом опыте в области исследования;
- выборе методов решения поставленных задач;
- разработке способов расчетного определения индуктивных параметров шестифазных турбогенераторов, проведении расчетов и анализе основных влияющих факторов;
- разработке способов экспериментального определения индуктивных параметров шестифазных турбогенераторов и методических рекомендаций по их применению;
- разработке рабочих программ и участии в экспериментальных



- исследованиях, сборе экспериментальных данных и их обобщении;
- разработке математической модели шестифазного турбогенератора, позволяющей выполнять расчеты численными методами различных симметричных и несимметричных переходных процессов и их комбинаций;
  - планировании и решении расчетных задач численного моделирования различных переходных процессов, анализе полученных результатов;
  - обобщении результатов исследования;
  - доведении результатов исследования до внедрения в повседневную практику;
  - в подготовке публикаций по теме диссертации.

На заседании 19 марта 2020 диссертационный совет принял решение присудить Гришину Николаю Васильевичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 05.09.01 – «Электромеханика и электрические аппараты».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 9 докторов наук по специальности 05.14.02 и 5 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 13, против 1, недействительных бюллетеней 0.

Заместитель председателя  
диссертационного совета Д 512.002.01



В.Э. Воротницкий

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 512.002.01




Н.И. Новиков

19 марта 2020 года