

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ГУ 212.224.14,  
СОЗДАННОГО ФЕДЕРАЛЬНЫМ ГОСУДАРСТВЕННЫМ БЮДЖЕТНЫМ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ УЧРЕЖДЕНИЕМ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

Аттестационное дело № \_\_\_\_\_

Решение диссертационного совета от 06.02.2020 г. №3

О присуждении **Салову Роману Алексеевичу**, гражданину РФ, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Обеспечение бесперебойной работы электротехнического комплекса с турбинами комбинированного питания при провалах напряжения и смене топлива» по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы принята к защите 25.11.19, протокол заседания №1, диссертационным советом ГУ 212.224.14, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет»; 199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, д.2; приказ № 1232 адм. от 23.09.2019.

Соискатель Салов Роман Алексеевич, 1992 года рождения, в 2015 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» по специальности 140604 Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов. В 2019 году окончил очную аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Диссертация выполнена на кафедре общей электротехники в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент **Шклярский Ярослав Элиевич**, заведующий кафедрой общей электротехники в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

Официальные оппоненты:

**Степанов Сергей Федорович**, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», кафедра «Электроэнергетика и электротехника», профессор;

**Синюкова Татьяна Викторовна**, кандидат технических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Липецкий государственный технический университет», кафедра «Электропривод», доцент;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **ОАО «Научно-исследовательский институт по передаче электроэнергии постоянным током высокого напряжения»**, г. Санкт-Петербург, в своем положительном отзыве, подготовленным и подписанным **Сусловой Ольгой Владимировной**, к.т.н., доцентом, заведующей научно-техническим отделом, обсужденным и одобренным на заседании секции постоянного тока (протокол №1 от 13 января 2020 года), утвержденным **Лозиновой Натальей Георгиевной**, к.т.н., доцентом, заместителем генерального директора, заведующей отделом, указала, что диссертация Салова Романа Алексеевича представляет собой актуальную и законченную научно-квалификационную работу, в которой разработаны эффективные технические решения по обеспечению бесперебойной работы электротехнического комплекса с турбинами комбинированного питания при провалах напряжения и смене топлива, которая в полной мере соответствует критериям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», а ее автор, Салов Роман Алексеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Соискатель имеет 10 опубликованных работ по теме диссертационного исследования, в том числе 3 опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 3 опубликованы в изданиях, индексируемых международной базой цитирования Scopus, и получено свидетельство о государственной регистрации программы на ЭВМ.

Общий объем опубликованных по теме диссертации работ составляет 7,3 печатных листа, авторский вклад соискателя составляет порядка 5,5 печатных листов.

Научные работы по теме диссертации:

**Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ:**

1. **Салов, Р. А.** Динамические свойства Z-инвертора в составе частотно-регулируемого электропривода [Текст] / О. Б. Шонин, Р. А. Салов // Известия Тульского государственного университета, Технические науки. – 2017. – №6. – С. 73-81.

Личный вклад соискателя: осуществление математического анализа динамических режимов работы Z-инвертора, получение передаточных функций преобразователя и проведение компьютерного моделирования для верификации полученных теоретических результатов.

2. **Салов, Р. А.** Повышение эффективности работы энергетических центров на попутном газе [Текст] / Я. Э. Шклярский, Р. А. Салов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2017. – №12. – С. 484-492.

Личный вклад соискателя: изучение причинно-следственных связей между режимом работы электротехнического комплекса на попутном нефтяном газе с турбинами комбинированного питания и режимом смены топлива, разработка математической и компьютерной моделей электротехнического комплекса, проведение моделирования и выявление аналитических зависимостей между распределением суммарной электрической мощности комплекса на турбинные генераторные электроустановки и остаточным давлением в системе.

3. **Салов, Р. А.** Компенсация провалов напряжения частотно-регулируемого привода на основе использования Z-инвертора [Текст] / Я. Э. Шклярский, Р. А. Салов, С. В. Соловьев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2019. – №9. – С. 560-569.

Личный вклад соискателя: разработка способа управления Z-инвертором в составе частотно-регулируемого электропривода газового компрессора электротехнического комплекса комбинированной топологии в условиях возникновения симметричных провалов напряжений и построение компьютерной модели электропривода для определения границ допустимого диапазона снижения напряжения ЗПТ при его полной нагрузке.

**Публикации в изданиях, входящих в базу цитирования Scopus:**

4. **Salov, R. A.** Improvement in energy efficiency, reliability and environmental safety of power plants based on associated petroleum gas / O. B. Shonin, R. A. Salov. – DOI 10.12911/22998993/69357. – Текст: электронный // Journal of Ecological Engineering. – 2017. – №18 (3). – pp. 91-96.

**Салов, Р. А.** Повышение энергоэффективности, надежности и экологической безопасности электростанций на попутном нефтяном газе / О. Б. Шонин, Р. А. Салов. – DOI 10.12911/22998993/69357. – Текст: электронный // Журнал Инженерной Экологии. – 2017. – №18 (3). – С. 91-96.

Личный вклад соискателя: проведение анализа аварийных режимов работы электротехнического комплекса комбинированной топологии и разработка методических рекомендаций по обеспечению его бесперебойной работы в режиме смены топлива на основе учета установленных диапазонов регулирования по активной мощности турбинных генераторных электроустановок различного типа питания.

5. **Salov, R. A.** Analysis of Z-source Inverter Control System For Asynchronous Drive for Gas Compressor / D. I. Ivanchenko, R. A. Salov, E. V. Yakovleva. – DOI 10.1109/EIConRus.2018.8317177. – Текст: электронный // IEEE Conference of Russian Young Researches in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus). Saint-Petersburg. – 2018. – pp. 91-96.

**Салов, Р. А.** Анализ систем управления Z-инвертором для асинхронного электропривода газового компрессора / Д. И. Иванченко, Р. А. Салов, Э. В. Яковлева. – DOI 10.1109/EIConRus.2018.8317177. – Текст: электронный // Сборник докладов Российской конференции молодых исследователей в области электротехники и электроники, организованной международным институтом электротехники и электроники. Санкт-Петербург. – 2018. – С. 91-96.

Личный вклад соискателя: проведение анализа существующих схем управления на базе Z-инвертора, разработка способа управления Z-инвертором и разработка компьютерной модели асинхронного двигателя газового компрессора на базе Z-инвертора.

6. **Salov, R. A.** Balanced Voltage Sag Compensation on Adjustable Speed Drive of a Gas Compressor / A. A. Belsky, R. A. Salov. – DOI 10.1109/EIConRus.2019.8656873. – Текст: электронный // IEEE Conference of Russian Young Researches in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus). Saint-Petersburg. – 2019. – pp. 934-938.

**Салов, Р. А.** Компенсация симметричных провалов напряжения частотно-регулируемого привода газового компрессора / А. А. Бельский, Р. А. Салов. – DOI 10.1109/EIConRus.2019.8656873. – Текст: электронный // Сборник докладов Российской конференции молодых исследователей в области электротехники и электроники, организованной международным институтом электротехники и электроники. Санкт-Петербург. – 2019. – С. 934-938.

Личный вклад соискателя: проведение анализа особенностей компенсации симметричных провалов напряжения для частотно-регулируемого электропривода газового компрессора на основе применения Z-инвертора и получение аналитической зависимости изменения напряжения конденсатора при возникновении провала напряжения.

**Прочие публикации:**

7. **Salov, R. A.** Improvement of the reliability of power plant operation on associated petroleum gas [Текст] // Scientific Reports on Resource Issues, Medienzentrum der TU Bergakademie Freiberg Publ.. Germany: Freiberg. – 2016. – №1. – pp. 283-287.

**Салов, Р. А.** Повышение надежности работы электростанции, работающей на попутном нефтяном газе [Текст] // Сборник научных докладов по вопросам недропользования, издательство технического университета Фрайбергская горная академия. Германия: Фрайберг. – 2016. – №1. – С. 283-287.

8. **Салов, Р. А.** Режимы работы Z-инвертора / О. Б. Шонин, Р. А. Салов. – Текст : электронный // Материалы II Всероссийской (с международным участием) молодежной научно-практической конференции «Введение в энергетику». Кемерово: Изд-во КузГТУ. – 2016. – URL: <http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/Other/2016/energ1/energ/index.htm>. – Дата публикации: 19 декабря 2016.

Личный вклад соискателя: проведение анализа основных режимов работы Z-инвертора и получение уравнений установившегося состояния Z-инвертора.

9. **Салов, Р. А.** Математическое описание динамических процессов в Z-инверторе / Я. Э. Шклярский, Р. А. Салов, А. И. Данцевич, Ю. В. Растворова. – Текст : электронный // Материалы III Всероссийской научно-практической конференции «Энергетика и энергосбережение: теория и практика». Кемерово: Изд-во КузГТУ. – 2017. – URL: <http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/energ/2017/energ/index.htm>. – Дата публикации: 28 декабря 2017.

Личный вклад соискателя: представление математического описания динамических режимов работы Z-инвертора и разработка компьютерной модели для исследования переходных процессов.

10. **Салов, Р. А.** Сравнительный анализ систем управления асинхронным электроприводом газового компрессора на основе Z-инвертора [Текст] / Р. А. Салов, Э. В. Яковлева // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME. Санкт-Петербург. – 2018. – С.178

Личный вклад соискателя: проведение сравнительного анализа одноконтурной и двухконтурной топологий систем управления на базе Z-инвертора для частотно-регулируемого привода газового компрессора и анализ результатов моделирования работы двух систем.

В диссертации Салова Р.А. отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах соискателя, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты работы докладывались на следующих семинарах и конференциях: международные конференции «Неделя науки СПбПУ» – 2015 и 2017, Санкт-Петербург; международный научно-технический семинар «Современные разработки в области электроснабжения и электропривода» – 2016, Санкт-Петербург; международная конференция «Efficiency and Sustainability in the Mineral Industry» – 2016, Фрайберг, Германия; всероссийские научно-практические конференции «Введение в энергетику» – 2016, «Энергетика и энергосбережение: теория и практика» – 2017 и 2018, Кемерово; международная конференция «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME – 2018, Санкт-Петербург; международные конференции «IEEE Conference of Russian Young Researches in Electrical and Electronic Engineering» (ElConRus) – 2018 и 2019, Санкт-Петербург; международная конференция «Topical Issues of Rational Use of Natural Resources» – 2019, Санкт-Петербург.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: заместителя директора конструкторского бюро, начальника отдела преобразовательной техники АО «Новая ЭРА», **Ивановского Александра Игоревича**; профессора кафедры «Электроэнергетика и электротехника» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», профессора, д.т.н. **Артюхова Ивана Ивановича**; директора учебно-научного центра информационных технологий обучения, институт ядерной энергии и промышленности ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», доцента, д.т.н. **Семыкиной Ирины Юрьевны**; эксперта по техническим вопросам, отдел мощные приводы ООО «Сименс», к.т.н. **Брагина Антона Александровича**; профессора Высшей школы электроэнергетических систем ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», профессора, д.т.н. **Фролова Владимира Яковлевича**.

В отзывах дана положительная оценка проведенных исследований, отмечена актуальность выбранной темы, высокая степень проработки

вопроса и профессиональный подход к решению поставленных задач, однако имеется ряд замечаний:

1. На стр. 14 величина  $D_0$  обозначена как скважность состояния КЗ, однако представленная для нее формула соответствует формуле для коэффициента заполнения сигнала (**Ивановский А.И.**).
2. В тексте автореферата на стр.16 упомянута разработанная компьютерная модель электропривода с Z-инвертором, однако схема модели не представлена (**Ивановский А.И.**).
3. На рисунке 8 автореферата показаны результаты исследования переходных процессов. На мой взгляд, приведенные графики правильно было бы назвать переходными функциями, а не передаточными функциями (**д.т.н. Артюхов И.И.**).
4. Из текста автореферата не ясно, каким образом были получены приведенные на рисунке 8 экспериментальные кривые (**д.т.н. Артюхов И.И.**).
5. На рисунках 10-12 приведены результаты моделирования работы частотно-регулируемого привода при различных значениях провода напряжения. Однако не указано, что какую характеристику имела нагрузка привода (**д.т.н. Артюхов И.И.**).
6. Алгоритм на рис.5 в начальной части имеет ветвления для проверки работы отдельно ГТУ №1 и ГТУ №2, а в финальной части отдельно блоки проверки мощности битопливных и однотопливных ГТУ без указания приоритета обхода ветвей алгоритма. В связи с этим возникают следующие вопросы: возможна ли на практике одновременная работа ГТУ №1 и ГТУ №2 на разных видах топлива? Окажет ли влияние на исполнение алгоритма, например, вид топлива ГТУ №2, если ГТУ №1 работает от попутного нефтяного газа и алгоритм перейдет к блоку «Проверка насоса дизельного топлива»? Может ли оказаться, что мощность однотопливных ГТУ находится в заданном диапазоне и алгоритм перейдет к блоку «Переход битопливных ГТУ на резервное топливо», тогда как мощность битопливных ГТУ не находится в заданном диапазоне? (**д.т.н. Семькина И.Ю.**).
7. В описании третьей главы приведена линейная математическая модель Z-инвертора в виде передаточных функций. Целесообразно уточнить границы ее применимости с учетом нелинейных статических характеристик ключей инвертора (**д.т.н. Семькина И.Ю.**).
8. Для численной оценки влияния провалов напряжения на скорость вращения двигателя и приводимого механизма также необходимо представить расчет времени выбега двигателя при потере напряжения (**к.т.н. Брагин А.А.**).

9. При проведении сравнительного анализа способов обеспечения устойчивости ЧРП к провалам напряжения (стр. 10) принимались ли в учет режимы работы современного электропривода с частотным преобразователем, такие как кинетическая буферизация, автоматический перезапуск и ограничение момента? (к.т.н. Брагин А.А.)

10. Какое влияние на входную сеть будет оказывать Z-инвертор в режиме компенсации провалов напряжения? (к.т.н. Брагин А.А.)

11. Автор не указал, насколько широко можно применять полученные результаты и какие ограничения существуют по их использованию (д.т.н. Фролов В.Я.).

Во всех отзывах отмечено, что указанные замечания не снижают ценности работы и значимости полученных результатов.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается** наличием исследований и публикаций по теме диссертационной работы и их компетентностью в области диссертационного исследования.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработан** алгоритм выбора параметров Z-инвертора в зависимости от значения выходного напряжения, коэффициентов пульсаций, параметров нагрузки и режимов ее работы, отличающийся тем, что позволяет обеспечить работу Z-инвертора на линейном участке его характеристики;

**предложен** способ управления Z-инвертором в составе частотно-регулируемого привода на основании выявленной аналитической временной зависимости изменения напряжения конденсатора звена постоянного тока при симметричных провалах напряжения;

**доказано** наличие закономерностей перераспределения суммарной электрической мощности электротехнического комплекса в режиме смены топлива как внешнего воздействия;

**введен** новый алгоритм управления суммарной электрической мощностью электротехнического комплекса на основе установленных зависимостей остаточного давления в системе от активной мощности турбинных электроустановок различного типа питания.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**доказано** положение, что устойчивая работа электропривода газового компрессора электротехнического комплекса комбинированной топологии при его полной загрузке достигается при минимально допустимом значении напряжения звена постоянного тока до 50% от номинального напряжения;



**применительно к проблематике диссертации** эффективно, т.е. с получением обладающих новинкой результатов, использован комплекс существующих методов математического и имитационного моделирования;

**изложена** идея обеспечения устойчивой работы электропривода газового компрессора электротехнического комплекса с турбинными генераторными электроустановками комбинированного питания в режиме симметричных провалов напряжения за счет регулирования длительности режима короткого замыкания Z-инвертора;

**раскрыты** закономерности протекания динамических процессов в частотно-регулируемом приводе с Z-инвертором при возникновении симметричных провалов напряжения;

**изучено** современное состояние алгоритмов управления суммарной электрической мощностью электротехнического комплекса и способов обеспечения устойчивости ЧРП к провалам напряжения;

**проведена модернизация** имитационной модели электропривода газового компрессора путем разработки блока управления Z-преобразователем, позволяющего определять границы допустимых диапазонов снижения напряжения звена постоянного тока в условиях симметричных провалов напряжения.

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

**разработан** способ управления Z-инвертором в составе электропривода газового компрессора, обеспечивающий его устойчивую работу при возникновении симметричных провалов напряжения глубиной до 50% и длительностью до 100мс;

**определены** диапазоны регулирования турбинных генераторных электроустановок различного типа питания по активной мощности в режиме смены топлива, что позволяет обеспечить бесперебойную работу электротехнического комплекса;

**создана** система практических рекомендаций по обеспечению бесперебойной работы электротехнического комплекса с турбинами комбинированного питания;

**представлены** рекомендации к использованию полученных теоретических и экспериментальных данных в учебных дисциплинах при подготовке студентов по направлению 13.03.02 – «Электроэнергетика и электротехника».

**Оценка достоверности результатов выявила:**

**для экспериментальных работ:** показана воспроизводимость результатов исследования при провалах напряжения различной глубины и

длительности и при различном перераспределении активной мощности электротехнического комплекса между электроустановками различного типа питания;

**теория** построена на известных закономерностях и проверяемых данных и фактах и согласуется с опубликованными ранее экспериментальными данными других исследователей по теме диссертации;

**идея базируется** на результатах анализа и обобщения зарубежного и отечественного опыта по разработке и применению алгоритмов управления режимами работы электротехнических комплексов с турбинами комбинированного питания и способов обеспечения устойчивой работы частотно-регулируемых электроприводов к провалам напряжения.

**установлена** сходимость результатов имитационного моделирования работы электротехнического комплекса комбинированной топологии в режиме смены топлива и работы электропривода газового компрессора с Z-инвертором в режиме провалов напряжения с результатами теоретических исследований с достаточной для технической оценки точностью;

**использовано** сравнение авторских временных зависимостей разряда конденсатора звена постоянного тока для Z-инвертора с аналогичными зависимостями, опубликованными ранее другими отечественными и зарубежными исследователями.

**Личный вклад соискателя состоит в:** постановке цели и задач исследования; анализе зарубежной и отечественной научно-технической литературы; анализе нарушений бесперебойной работы комплекса в режиме смены топлива и в условиях возникающих провалов напряжений; проведении математического и имитационного моделирования работы электротехнического комплекса комбинированной топологии и электропривода на базе Z-инвертора; обобщении и обработке экспериментальных данных; формулировке основных научных положений и выводов, а также в подготовке текстов научных публикаций и диссертации.

На заседании 06 февраля 2020 года диссертационный совет принял решение присудить **Салову Роману Алексеевичу** ученую степень кандидата технических наук за решение важной научно-практической задачи обеспечения бесперебойной работы электротехнического комплекса с турбинами комбинированного питания за счет разработки системы управления на основе применения Z-инвертора при провалах напряжения и алгоритма управления суммарной мощностью электротехнического комплекса в режиме смены топлива.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 8 докторов наук по специальности

рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании из 18 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 18, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель  
диссертационного совета

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Шпенст Вадим Анатольевич

Коптева Александра Владимировна

06.02.2020