

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ГУ.6
ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА (ДОКТОРА) НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 29.10.2025 № 28

О присуждении Токареву Ивану Сергеевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Электротехнические комплексы газовой отрасли с многофункциональным применением систем накопления электроэнергии» по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы принята к защите 21.07.2025 г., протокол заседания № 22, диссертационным советом ГУ.6 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России, 199106, Санкт-Петербург, линия 21-я В.О., дом 2, приказ ректора Санкт-Петербургского горного университета о создании диссертационного совета от 06.02.2023 № 154 адм, с изменениями от 31.08.2023 №1193 адм, с изменениями от 30.07.2024 №1212 адм.

Соискатель, Токарев Иван Сергеевич, 07.11.1985 года рождения, диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему: «Моделирование и исследование параллельной работы энергоагрегатов электростанций собственных нужд газокompрессорных станций» защитил в 2016 году по специальности 05.14.02 – Электростанции и электроэнергетические системы, в диссертационном совете, созданном на базе Национального исследовательского Томского политехнического университета. Диплом кандидата наук Серия КНД № 029393, решение от 12.10.2016 г.

С февраля 2024 года и по настоящее время работает старшим преподавателем кафедры общей электротехники в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре общей электротехники федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Научный консультант – доктор технических наук, профессор, Абрамович Борис Николаевич, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», кафедра электроэнергетики и электромеханики, профессор кафедры.

Официальные оппоненты:

Дмитриев Борис Федорович – доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет», кафедра электротехники и электрооборудования судов, профессор кафедры;

Соснина Елена Николаевна – доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», кафедра «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника», профессор кафедры;

Суслов Константин Витальевич – доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», кафедра гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии, профессор кафедры;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»**, г. Санкт-Петербург в своем положительном отзыве, подписанном Барсковым Виктором Валентиновичем, доктором технических наук, доцентом, директором Института энергетики, Зверевым Сергеем Геннадьевичем, кандидатом технических наук, доцентом, директором Высшей школы электроэнергетических систем, Беляевым Андреем Николаевичем, доктором технических наук, доцентом, профессором той же Высшей школы, рецензентом, Люлиной Марией Александровной, старшим преподавателем той же Высшей школы, секретарем заседания и утвержденном Фоминым Юрием Владимировичем, кандидатом физико-математических наук, проректором по научной работе, указала, что выводы и результаты представленной на рассмотрение диссертационной работы имеют высокую научную и практическую ценность. Использование полученных в диссертации результатов и рекомендаций будет способствовать повышению бесперебойности и энергоэффективности работы электротехнических

комплексов в газовой отрасли. Получены акты внедрения: ПАО «Газпром» от 17.12.2024 г. №308/1, ООО «Газпром трансгаз Ухта» от 18.11.2024 г., ООО «Газпром СПГ Портовая» от 13.12.2024.

На основании рассмотрения актов внедрения согласно протоколу совещания Министерства энергетики РФ от 25.12.2024 г результаты исследования признаны существенными для развития газовой отрасли и рекомендованы к использованию в её текущей деятельности.

Основные научные результаты в достаточной степени освещены в 37 печатных работах, в том числе в 12 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 1 статье - в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получены 2 свидетельства о государственной регистрации баз данных и 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Общий объем – 34,26 печатных листов, в том числе 16,75 печатных листа – соискателя.

Публикации в изданиях из Перечня ВАК:

1. **Токарев И.С., Шклярский Я.Э., Пудкова Т.В., Назарычев А.Н.** Определение зависимости параметров системы накопления электроэнергии от степени выравнивания графика электрических нагрузок // *Электричество*. – 2024. – № 9. – С. 45-51. – DOI 10.24160/0013-5380-2024-9-45-51. EDN: GCGXYH. **ВАК №3048 ред. 10.06.2024**

Соискателем выполнено исследование вопроса, связанного с расчетом основных параметров систем накопления, а также исследование переменных, влияющих на величину показателя нормированной стоимости накопления электроэнергии, проанализирована обобщенная информация о развитии методик расчета показателя нормированной стоимости. Впервые установлены зависимости между степенью выравнивания графика электрических нагрузок и параметрами системы накопления электроэнергии, влияющими на окончательный экономический эффект.

2. **Токарев И.С., Шклярский Я.Э., Васильков О.С., Андреева Ю.Е.** Подход к выбору химических источников тока для использования в системах накопления энергии на объектах газовой отрасли // *Энергетик*. – 2024. – № 4. – С. 47-54. EDN: NEUEFK. **ВАК №3048 ред. 23.04.2024**

Соискателем выполнен анализ существующих химических источников тока, описаны их особенности, преимущества, и недостатки в части применение данного оборудования в составе систем накопления энергии на

объектах газовой отрасли Российской Федерации. Изложены способы и методы применения химических источников тока в составе электротехнических комплексов объектов добычи, транспортирования и переработки газа для обеспечения бесперебойной работы технологического и генерирующего оборудования производственных объектов.

3. Токарев И.С., Назарычев А.Н., Шклярский Я.Э., Скворцов И.В. Обеспечение устойчивой работы автономных энергосистем в газовой промышленности // Энергетик. – 2024. – № 7. – С. 15-19. EDN: DBLTXA. **ВАК №3078 ред. 10.06.2024**

Соискателем в виртуальной среде разработана имитационная типовая модель автономной системы электроснабжения газокompрессорных станций с использованием параметров реального объекта, проведена оценка ее достоверности. В модели предусмотрена реализация различных режимов работы энергетического оборудования технологических объектов транспорта газа с целью перенастройки опробования усовершенствованных алгоритмов управления релейной защиты и автоматики, что в дальнейшем позволит повысить устойчивость работы любых автономных энергосистем компрессорных станций.

4. Токарев И.С., Шклярский Я.Э., Андреева Ю.Е., Скворцов И.В. Алгоритм работы системы накопления энергии в структуре электротехнического комплекса объекта газовой отрасли // Электричество. – 2024. – № 4. – С. 51-63. – DOI: 10.24160/0013-5380-2024-4-51-63. **ВАК №3018 ред. 23.04.2024**

Соискателем разработано два алгоритма планирования работы электротехнического комплекса объекта газовой отрасли: алгоритм жестких правил и динамического планирования. В основу исследования был положен сценарный анализ работы электротехнических комплексов для построения алгоритмов автоматического управления на логических блоках, а также математическая многокритериальная оптимизации на основе целевых функций и алгоритма типа «хищник-жертва». Для каждого из разработанных алгоритмов проработаны сценарии функционирования, а также определено соотношение между типами систем управления и структурами существующих типовых электротехнических комплексов объектов газовой отрасли.

5. Токарев И.С., Васильков О.С., Шклярский Я.Э., Скворцов И.В., Безнос О.С. Выбор параметров системы накопления электроэнергии по критерию усовершенствованного показателя нормированной стоимости для объектов ПАО «Газпром» большой мощности // Электронный сетевой

политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2024. – № 2. – С. 170-184. DOI: 10.26297/2312-9409.2024.2.15. **ВАК №3036 ред. 23.04.2024**

Соискателем определены недостатки существующих методик определения эффективности применения систем накопления электроэнергии (СНЭЭ) по показателю нормированной стоимости (LCOS), представлены возможные способы корректировки различных факторов, влияющих на итоговую величину LCOS, исходя из анализа функциональных возможностей систем СНЭЭ и потребностей систем электроснабжения объектов добычи и транспорта ПАО «Газпром». Представлен новый показатель, позволяющий соотнести уровень выравнивания графика электрических нагрузок и изменение потребления топлива генерирующим оборудованием, сформирован универсальный подход к определению мощности и энергоемкости СНЭЭ.

6. Токарев И.С., Шклярский Я.Э., Скворцов И.В., Васильков О.С. Алгоритм выбора параметров суперконденсатора в составе системы накопления энергии электротехнического комплекса при провалах напряжения // Горное оборудование и электромеханика. – 2024. – № 2(172). – С. 13-30. DOI: 10.26730/1816-4528-2024-2-13-30. **ВАК № 1027 ред. 23.04.2024**

Соискателем разработан новый подход к выбору параметров системы накопления электроэнергии, в основе которого лежат выявленные математические зависимости количества единиц суперконденсаторов от их номинальной емкости и напряжения, влияния конфигурации соединения накопителей внутри системы на ее окончательные показатели, а также номинальных параметров рассматриваемого объекта и характеристик провалов напряжения. По полученным данным сформирован алгоритм определения параметров СНЭЭ на базе суперконденсаторов с требуемыми номинальными параметрами, удовлетворяющими критериям технической и экономической эффективности для рассматриваемого объекта.

7. Токарев И.С., Шклярский Я.Э., Андреева Ю.Е., Лаврик А.Ю. Анализ эффективности алгоритма планирования работы электротехнического комплекса с накопителем энергии // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 3. – С. 334-342. DOI: 10.24412/2071-6168-2024-3-334-335. **ВАК №1307 ред. 20.02.2024**

Соискателем разработана система планирования работы электротехнического комплекса и его управления, на примере компрессорной станции (КС). В работе алгоритма присутствуют три основных этапа – моделирование, оптимизация, прогноз и выдача плана в работу. Приведено описание работы алгоритма, приведены два примера работы алгоритма с

реальными данными о мощности, полученными на КС, дана краткая оценка эффективности работы алгоритма на основе показателей, сформулированных в виде целевых функций для решения задачи многокритериальной оптимизации.

8. Токарев И.С., Толмачев В.Н., Кирюхин С.Н., Иваницкий С.С., Пудкова Т.В. Расчет показателей надежности системы электроснабжения с интегрированной системой накопления энергии // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2024. – № 3. – С. 116-130. DOI: 10.26297/2312-9409.2024.3.12. **ВАК №3066 ред. 10.06.2024**

Соискателем представлена оценка целесообразности применения систем накопления электрической энергии в составе систем электроснабжения производственных объектов ПАО «Газпром» с точки зрения обеспечения надежности электропитания потребителей. Приведены основные положения расчета показателей надежности с использованием технологии автоматизированного структурно-логического моделирования, представлены результаты расчетов моделирования аварийных режимов систем электроснабжения с отказом одного из электроагрегатов.

9. Токарев И.С., Толмачев В.Н., Иваницкий С.С. Перспективы и проблемы внедрения систем накопления электроэнергии для эффективного электроснабжения потребителей производственных объектов газовой отрасли // Энергия единой сети. – 2024. – № 2(73). – С. 62-71. – EDN: DEFVHF. **ВАК №1874 ред. 10.06.2024**

Соискателем рассмотрены перспективы формирования рынка систем накопления энергии (СНЭЭ) на базе литий-ионных аккумуляторов в России и роль СНЭЭ в развитии отечественной электроэнергетики. Приведен перечень перспективных исследований и разработок по созданию эффективных систем накопления энергии, выполнен анализ результатов внедрения систем постоянного тока на основе литий-ионных аккумуляторов на производственных объектах газовой отрасли. Представлены сведения о составе, режимах работы, а также достоинствах и недостатках системы постоянного тока газораспределительной станции с функцией накопления энергии при использовании литий-ионных аккумуляторов.

10. Токарев И.С., Замула К.В., Сербин Ю.В. Перспективы применения интеллектуального управления для повышения эффективности электроснабжения компрессорных станций с системами накопления электрической энергии // Новое в российской электроэнергетике. – 2024. – № 5. – С. 46-60. – EDN: QJYAKM. **ВАК №1954 ред. 20.05.2024**

Соискателем разработаны общие решения комплексной технологии совершенствования электроснабжения компрессорных станций с

применением эффективных систем накопления электрической энергии и подсистем интеллектуального управления электроснабжением, приведен вариант интеграции перечисленных структурных составляющих в состав систем электроснабжения, оценена перспективность внедрения подобных технических решений на компрессорных станциях газовой отрасли.

11. Хрущев Ю.В., Токарев И.С., Кладько А.А. Построение режимных частотных характеристик электроэнергетической системы по системе исходных уравнений // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. - 2013. - № 2. - С. 340-344. EDN: RSMPXJ

Соискателем разработана серия методик экспериментального снятия и применения режимных частотных характеристик электроэнергетической системы.

12. Хрущев Ю.В., Токарев И.С. Применение критерия Найквиста к исследованиям статической устойчивости электроэнергетических систем// Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. - 2011. - № 2.- С. 295-298. EDN: OWNFUZ.

Соискателем рассмотрены возможности применения критерия Найквиста для решения задач анализа и синтеза устройств автоматического регулирования электроэнергетических систем.

Публикации в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus:

13. Tokarev I.S. Development of parameters for an industry-specific methodology for calculating the electric energy storage system for gas industry facilities // Journal of Mining Institute. 2025. Vol. 272. p. 171-180. EDN UIZSOQ.

Соискателем сформирована отраслевая методика расчета параметров системы накопления электроэнергии на базе традиционной методики и методики, направленной на минимизацию нормированной стоимости электроэнергии с адаптацией под условия газовой отрасли. Приводится пример расчета нормированной стоимости накопления электроэнергии с помощью усовершенствованного показателя LCOS, учитывающего влияние изменения коэффициента заполнения графика электрических нагрузок на величину потребления газа электростанцией собственных нужд.

Публикации в прочих изданиях:

14. Бабанова И.С., Прохорова В.Б., Токарев И.С. Управление электропотреблением предприятий нефтегазового комплекса с учетом диагностических оценок технического состояния потребителей-регуляторов: Монография / Под общ. ред. д.т.н., проф. Б.Н. Абрамовича. – М.: Издательство «Горная книга», 2022. – 372 с., ISBN 978-5-98672-548-2.

Соискателем рассмотрены возможности применения систем накопления электроэнергии в условиях предприятий газовой промышленности. Представлены характеристики систем накопления электроэнергии, возможности использования систем накопления электроэнергии для систем электроснабжения малой и большой мощности.

15. Кайдаш А.С. Повышение эффективности работы электростанций собственных нужд ПАО «Газпром» методом загрузки свободных генерирующих мощностей / А.С. Кайдаш, Т.Ф. Коноплев, **И.С. Токарев**, А.С. Кшесинский, М.А. Кияшко, А.А. Тримбач, В.И. Зиберт, О.С. Кириченко // Газовая промышленность. – 2024. – № 5(865). – С. 100-105. – EDN: VLSYJQ.

Соискателем разработан метод загрузки свободных генерирующих мощностей (вращающегося резерва) на электростанциях собственных нужд с газопоршневым и газотурбинным приводом, с помощью которого повышена эффективность работы приводных двигателей электроагрегатов с получением положительного экономического эффекта для газовой отрасли.

16. **Токарев И.С.** Применение систем накопления электроэнергии в составе генерирующего оборудования систем электроснабжения производственных объектов ПАО «Газпром» / **И.С. Токарев**, В.Ф. Югай, В.Н. Толмачев, Ю.В. Сербин, Н.А. Грунин, С.С. Иваницкий, В.В. Павлов, А.С. Семягин // Газовая промышленность. – 2023. – № S3(853). – С. 34-40. – EDN: HVXHNW.

Соискателем рассмотрены различные варианты и способы многофункционального применения систем накопления электрической энергии в составе электротехнических комплексов газовой промышленности. Представлено практическое применение подсистем накопления энергии различных модификаций.

17. Михаленко В.А. Перспективы применения систем накопления энергии для обеспечения бесперебойной работы комплекса по производству, хранению и отгрузке СПГ / В.А. Михаленко, А.Н. Бронников, А.А. Шаповало, Т.Ф. Коноплев, **И.С. Токарев**, А.А. Володько, А.В. Стропак, И.В. Скворцов // Газовая промышленность. – 2023. – № S3(853). – С. 20-27. – EDN: DHOLGN.

Соискателем разработан способ обеспечения бесперебойной работы мощного электроприводного оборудования в составе комплексов по производству СПГ при провалах и кратковременных прерываниях питания во внешних сетях электроснабжения.

18. Бронников А.Н., Шаповало А.А., Коноплев Т.Ф., **Токарев И.С.** Цифровые решения в энергоснабжении производственных объектов ПАО «Газпром»: перспективы и возможности // Газовая промышленность. – 2021. – № 11(824). – С. 68-71. – EDN: UQIGYS.

Соискателем проанализированы современные цифровые технологии, используемы в общемировой практике при разработке и эксплуатации электрооборудования. Показаны возможные варианты внедрения цифровых технологий для безопасной и надежной эксплуатации электротехнических комплексов в газовой промышленности.

19. **Токарев И.С.** Применение систем накопления энергии для повышения эффективности и надежности энергоснабжения Технологических объектов ПАО «Газпром» // Газовая промышленность. – 2021. – № S4(825). – С. 126-134. – EDN: YVZTVY.

Соискателем представлены способы решения проблем, связанных с обеспечением бесперебойного и энергоэффективного электроснабжения в газовой отрасли. Описаны разработки автора по внедрению современных систем накопления электрической энергии в составе действующих производственных объектов.

20. Бронников А.Н., Шаповало А.А., Коноплев Т.Ф., **Токарев И.С.** Интеграция и перспективы применения современных организационно-технических решений в системах энергоснабжения технологических объектов ПАО «Газпром» // Газовая промышленность. – 2021. – № S1(814). – С. 118-122. – EDN: NUSTFU.

Соискателем проанализировано современное состояние систем электроснабжения производственных объектов ПАО «Газпром». Определены основные векторы применения современных организационно-технических решений для повышения эффективности работы электротехнических комплексов в газовой отрасли.

21. **Токарев И.С.**, Шаповало А.А., Коноплев Т.Ф. Разработка и внедрение буферной гибридной батареи в автономных системах электроснабжения производственных объектов ПАО «Газпром» // Газовая промышленность. – 2020. – № 2(796). – С. 82-86. – EDN: PCZZZM.

Соискателем представлена собственная разработка буферной гибридной батареи в составе микротурбинной автономной электростанции. Разработанная гибридная батарея на базе суперконденсаторных накопителей позволяет значительно повысить эффективность работы автономных систем электроснабжения малой мощности в газовой промышленности.

22. Babanova I.S., **Tokarev I.S.**, Abramovich B.N., Babyr K.V. Electric Energy Consumption Modes Forecasting and Management for Gas Industry Enterprises Based on Artificial Intelligence Methods // Proceedings of the 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2021, Moscow, 26–28.01.2021 – Moscow, 2021. – P. 1382-1385. – DOI 10.1109/ElConRus51938.2021.9396389.

Соискателем проработаны вопросы управления режимами электропотребления на предприятиях газовой отрасли на основе методов искусственного интеллекта.

23. **Tokarev I.S.**, Bogdanov I.A., Serikov V.A. Solutions to Improving the Self-Contained Power Supply to the Gas Industry Facilities when Operating Gas Turbine Power Plants in the Binary Cycle and Trigenation Modes // 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020, Vladivostok, 06–09.10.2020 – Vladivostok, 2020. – P. 9271596. – DOI: 10.1109/FarEastCon50210.2020.9271596.

Соискателем рассмотрены возможные варианты применения бинарного цикла и тригенерации при эксплуатации газотурбинных электростанций на объектах газовой отрасли.

24. Abramovich B.N., Babanova I.S., **Tokarev I.S.** Development of Forecasting Models to Manage the Power Consumption Modes of the Gas Industry Facilities // 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020, Vladivostok, 06–09.10.2020 – Vladivostok, 2020. – P. 9271495. – DOI: 10.1109/FarEastCon50210.2020.9271495.

Соискателем предложены и разработаны методы прогнозирования электрических нагрузок на объектах газовой отрасли.

25. **Токарев И.С.**, Васильков О.С. Анализ характера нагрузок объектов добычи и транспорта газа для оценки возможности применения систем накопления энергии // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность - 2023: Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции, Севастополь, 18–21 сентября 2023 года. – Севастополь: Севастопольский государственный университет, 2023. – С. 392-394. – EDN: IKSHXL.

Соискателем проведен анализ характера нагрузок предприятий добычи и транспорта газа, который определяет возможность применения систем накопления электроэнергии на объектах газовой отрасли.

26. Bogdanov I.A., Babyr K.V., **Tokarev I.S.** Work Stability and Reliability Increasing of Electric Power Plants Common Auxiliaries in the Gas Industry // Proceedings of the 2022 Conference of Russian Young Researchers in

Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2022, St. Petersburg, 25–28.01.2022 – St. Petersburg, 2022. – P. 1156-1159. – DOI: 10.1109/ElConRus54750.2022.9755615

Соискателем рассмотрены способы по повышению устойчивости работы автономных электростанций собственных нужд с газопоршневым приводом.

27. Токарев И.С. Обеспечение устойчивой работы автономной энергосистемы газокompрессорной станции с газотурбинным приводом // Тезисы докладов двенадцатой всероссийской конференции молодых ученых, специалистов и студентов «Новые технологии в газовой промышленности». ПАО «Газпром», РГУ им. И.М. Губкина, Москва, 24-27 октября 2017 г. - Москва: Изд-во РГУ им И.М. Губкина, 2017. – С. 420.

Соискателем разработаны варианты обеспечения устойчивой работы автономной электростанции собственных нужд, которая обеспечивает электроснабжения компрессорной станции с газотурбинными газоперекачивающими агрегатами.

28. Токарев И.С. Обеспечение устойчивости работы автономных систем электроснабжения газокompрессорных станций // Сборник тезисов XI всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России», Москва, 8-10 февраля 2016 г. - Москва: Изд-во РГУ им И.М. Губкина, 2016. - С. 43.

Соискателем разработаны варианты обеспечения устойчивой работы автономной электростанции собственных нужд, которая обеспечивает электроснабжения компрессорной станции с газотурбинными газоперекачивающими агрегатами.

29. Токарев И.С., Ужастов Ю.Н. Разработка технических решений по повышению надежности электроснабжения автономных энергосистем компрессорных станций на примере ГКС «Сахалин» // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XIX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 70-летию юбилею Победы советского народа над фашистской Германией. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – Т. II. - С. 594-595.

Соискателем разработаны технические решения по повышению надежности электроснабжения компрессорной станции в автономной энергосистеме, с применением частотных критериев устойчивости.

30. Токарев И.С. Обеспечение устойчивости работы автономных систем электроснабжения газокompрессорных станций // Сборник статей VII международной научной конференции молодых ученых «Электротехника.

Электротехнология. Энергетика», Новосибирск, 6-8 июня 2015 г. – Новосибирск: Изд-во НГТУ. - С. 214-217.

Соискателем представлены способы обеспечения устойчивой работы электростанции собственных нужд в автономной системе электроснабжения компрессорной станции.

31. **Токарев И.С.** Разработка технических решений для повышения устойчивости и надежности работы электростанции собственных нужд головной газокompрессорной станции «Сахалин» // Электроэнергетика глазами молодежи: научные труды V международной научно-технической конференции, Томск, 10-14 ноября 2014 года. – Томск: Томский политехнический университет. – Т.2. – с. 542-545.

Соискателем разработаны технические решения по повышению устойчивости и надежности работы электростанции на реальном объекте газовой отрасли, предложены новые ранее не использованные схемы электроснабжения с двумя независимыми источниками в автономной энергосистеме и синхронизации генераторов по низкому напряжению через удаленные КТП.

32. **Токарев И.С.** Технические решения по увеличению надежности работы автономных энергосистем на примере ГКС «Сахалин» // Современные техника и технологии: сборник трудов XX международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых, Томск, 19-21 апреля 2014 г. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – Т.1, С. 51-52.

Соискателем разработаны технические решения по увеличению надежности работы автономных энергосистем компрессорных станций, которые позволяют обеспечить бесперебойную работу технологического оборудования и транспортировку газа.

33. Хрущев Ю.В., **Токарев И.С.**, Кладько А.А. Построение амплитудно-фазовых частотных характеристик электроэнергетической системы по исходной математической модели // Современные проблемы электроэнергетики. Алтай - 2013: Сборник статей I Международной научно-технической конференции, Барнаул, 28 ноября 2013 года – Барнаул: ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (АлтГТУ), 2013. – С. 107-109. – EDN: TPOZOH.

Соискателем предложен способ построения АФЧХ энергосистемы по исходной математической модели для оперативного определения запаса устойчивости энергосистемы.

34. **Токарев И.С.** Разработка технических решений для увеличения устойчивости и надежности работы электростанций собственных нужд» //

Тезисы докладов юбилейной десятой всероссийской конференции молодых ученых, специалистов и студентов «Новые технологии в газовой промышленности». ОАО «Газпром», РГУ им. И.М. Губкина, Москва, 8-10 октября 2013 г. Москва: Изд-во РГУ им И.М. Губкина, 2013, С 331.

Соискателем представлены способы обеспечения устойчивой работы электростанции собственных нужд в автономной системе электроснабжения компрессорной станции.

35. Токарев И.С. Технические решения по увеличению запаса устойчивости автономных энергосистем на примере ГКС «Сахалин» // Сборник тезисов. XIV научно-практическая конференция молодых руководителей и специалистов «Молодежные инновации повышения эффективности и надежности транспорта газа». ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург», Екатеринбург, 3-7 июня 2013 г. Екатеринбург: Изд-во ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург», 2013. С. 40.

Соискателем представлены разработанные технические решения по увеличению устойчивости работы электростанций собственных нужд в автономной системе электроснабжения компрессорной станции.

36. Токарев И.С. Новые методы в исследовании статической устойчивости электроэнергетических систем // Современные техника и технологии: сборник трудов XVIII международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых, Томск, 10-14 апреля 2012 г. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – Т.1. - С. 25-26.

Соискателем предложены новые методы для исследования статической устойчивости энергосистем в газовой промышленности.

37. Токарев И.С. Использование режимных характеристик для исследования уровней статической устойчивости энергосистем // Современные техника и технологии: сборник трудов XVII международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых, Томск, 18-22 апреля 2011 г. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – Т.1. - С. 25-26.

Соискателем проанализированы различные варианты использования режимных характеристик для определения запаса статической устойчивости энергосистем в газовой промышленности.

Свидетельства на объекты интеллектуальной собственности:

38. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024621477 Российская Федерация. База данных технических характеристик аккумуляторов, применимых в газовой промышленности: № 2024621122: заявл. 28.03.2024: опубл. 04.04.2024 / **И. С. Токарев**, Я. Э. Шклярский, Ю. Е. Андреева;

заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II». – EDN: FIEIUY.

Соискателем проанализирован современный ранок аккумуляторов, используемых в общемировой практике, предложены способы их классификации, разработана база данных.

39. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024621578 Российская Федерация. База данных технических характеристик суперконденсаторов, применимых в газовой промышленности: № 2024621124: заявл. 28.03.2024: опубл. 10.04.2024 / **И. С. Токарев**, Я. Э. Шклярский, И. В. Скворцов; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II». – EDN: VABFZE.

Соискателем проанализирован современный ранок суперконденсаторов, используемых в общемировой практике, предложены способы их классификации, разработана база данных.

40. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024618392 Российская Федерация. Программа по управлению системой накопления электроэнергии в составе электротехнических комплексов: № 2024616945: заявл. 04.04.2024: опубл. 11.04.2024 / **И. С. Токарев**, Я. Э. Шклярский, О. С. Васильков; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II». – EDN: CGHFDT.

Соискателем разработан алгоритм управления системой накопления электрической энергии в составе электротехнических комплексов.

Апробация работы проведена на научно-практических мероприятиях:

1. LXXVIII Международной научно-практической конференции «WORLD SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS» (апрель 2024 года, г. Пенза);
2. IV Международная конференция «Системные исследования в энергетике 2023» IV International Conference ENERGY SYSTEMS RESEARCH 2023 (сентябрь 2023 года, г. Иркутск);
3. Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2023 (18–21 сентября 2023 года, г. Севастополь);
4. 2022 Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2022 (25–28 января 2022 года, г. Санкт-Петербург);

5. 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2021 (26–28 января 2021 года, г. Москва);
6. 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020 (06–09 октября 2020 года, г. Владивосток);
7. XII Всероссийская конференция молодых ученых, специалистов и студентов «Новые технологии в газовой промышленности», (24-27 октября 2017 года, г. Москва, РГУ им. И.М. Губкина);
8. XI Всероссийская научно-техническая конференция «Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России» (8-10 февраля 2016 года, г. Москва, РГУ им. И.М. Губкина);
9. XIX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 70-летию юбилею Победы советского народа над фашистской Германией (2015 год, г. Томск);
10. VII Международная научная конференция молодых ученых «Электротехника. Электротехнология. Энергетика» (6-8 июня 2015 года, г. Новосибирск).

В диссертации Токарева Ивана Сергеевича отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: заведующего кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий» ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)», д.т.н., доцента **Р.В. Ключева**; заведующего кафедрой «Автоматизированный электропривод и робототехника» ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», д.т.н., профессора **В.Н. Мещерякова**; профессора кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», д.т.н., доцента **Е.И. Грачевой**; директора филиала ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Волжском, д.т.н., доцента **М.М. Султанова**; Главного Эксперта ООО «Лаборатория Инжиниринга» (г. Санкт-Петербург), д.т.н. **А.В. Тимофеева**; заведующего кафедрой информатики и компьютерного дизайна ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича», д.т.н., доцента **Д.В. Волошинова**; главного научного сотрудника НТЦ «Энергоснабжение» АО «Газпром промгаз», д.т.н., с.н.с. **В.Н. Толмачева**; зам. директора Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, зав. отделом

Энергетической безопасности, д.т.н. **С.М. Сендерова** и заведующего лабораторией надёжности топливно- и энергоснабжения к.т.н. **Д.С. Крупенёва**; профессора кафедры «Электроэнергетики и электротехники» ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», д.т.н., доцента **А.В. Мокеева**; профессора кафедры электрических станций, подстанций и диагностики электрооборудования ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», д.т.н., профессора **В.А. Савельева**.

В отзывах дана положительная оценка диссертационного исследования, отмечена актуальность выбранной темы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость диссертационного исследования, логическое построение работы с использованием актуальной научной и статистической информации, однако отмечены ряд замечаний:

1. Желательно в будущих исследованиях более детально раскрыть вопросы долговременной эксплуатации СНЭЭ в условиях экстремально низких температур. (д.т.н. **Р.В. Ключев**);

2. Целесообразно расширить анализ зарубежного опыта применения СНЭЭ на объектах, аналогичных российским газовым активам. (д.т.н. **Р.В. Ключев**);

3. Возможно, стоит рассмотреть возможность интеграции СНЭЭ с возобновляемыми источниками энергии на удаленных объектах. (д.т.н. **Р.В. Ключев**);

4. Из рисунка 2 автореферата (зависимость капитальных затрат и энергии, выдаваемой СНЭЭ за время эксплуатации от параметров СНЭЭ) не понятно, какой был принят расчетный срок эксплуатации для принятых сценарных условий работы? (д.т.н. **В.Н. Мещеряков**);

5. Прогнозный алгоритм заключается в построении прогноза на сутки вперед (заряд, разряд СНЭЭ). Не ясно, рассматривался ли автором более длительный интервал прогноза? (д.т.н. **В.Н. Мещеряков**);

6. Не совсем логично представлен анализ результатов, показанных на рисунках 2,3,4. Требуется дополнительные пояснения к их дальнейшему использованию в логике построения алгоритмов по выбору многофункционального применения СНЭЭ. (д.т.н. **Е.И. Грачева**);

7. В работе указано, что одним из сценариев для автономных электростанций является «обеспечение нагрузки энергией за счет разряда СНЭЭ, пока нагрузка не уменьшится до заданного уровня выравнивания, заряд аккумулятора за счет ЭСН в моменты снижения нагрузки». Рассматриваются ли в данном случае ухудшенные показатели работы СНЭЭ,

в том числе возможность его невключения, например, при сбое его синхронизации из-за наличия гармоник в сети, значения которых достигаются значительных величин в автономных сетях? (д.т.н. **Е.И. Грачева**);

8. Имеются некоторые грамматические ошибки, например, «при вырывании графика нагрузки...». В этом же в работе указывается на «смешанное» электроснабжение. Такой термин следовало бы пояснить более подробно в автореферате. Является ли наличие ИБП небольшой мощности в этом случае характеристикой смешанного электроснабжения? (д.т.н. **Е.И. Грачева**);

9. В автореферате указано, что при электроснабжении объектов газовой отрасли применяется три типа схем электроснабжения: автономное, смешанное и внешнее, при этом в каждом типе схем наблюдается ряд характерных особенностей и проблем, влияющих на выбор способа их решения. Было бы полезно указать, какие именно аспекты были выделены как значимые для выбора способа их решения. (д.т.н. **М.М. Султанов**);

10. Было бы целесообразно представить характерные графики электрических нагрузок в автореферате для наглядности. (д.т.н. **М.М. Султанов**);

11. Из автореферата не ясно, почему была использована для исследования матрица Хосин Канри, а не OKR или другие. Был ли проведено информативное отображение разработанной методологии исследования другими методами, на основании чего был выбран оптимальный? (д.т.н. **М.М. Султанов**);

12. Как обеспечивается диагностика и прогнозирование остаточного ресурса СНЭЭ в условиях длительной автономной эксплуатации на удаленных объектах, где доступ к сервисному обслуживанию ограничен? Есть ли в разработанных алгоритмах управления компоненты, связанные адаптивной коррекцией режимов в зависимости от деградации его параметров. (д.т.н. **А.В. Тимофеев**);

13. В автореферате акцент сделан на интеграцию СНЭЭ в существующие ЭТК в ГПЭС и ГТУ ЭСН. Насколько предложенные методы и алгоритмы применимы в гибридных энергосистемах, где уже используются или планируются ВИЭ, в частности на арктических СПГ проектах. (д.т.н. **А.В. Тимофеев**);

14. Какие кибербезопасные и отказоустойчивый архитектуры управления СНЭЭ предлагаются для критически важных объектов, учитывая растущие требования к защите промышленных цифровых систем от внешних воздействий и сбоев в каналах связи? (д.т.н. **А.В. Тимофеев**);

15. Как в разработанной методике расчета LCOS учитывается деградация параметров СНЭЭ (в частности, литий-ионных аккумуляторов) в условиях длительной эксплуатации при экстремально низких температурах, характерных для многих объектов газовой отрасли? (д.т.н. **Д.В. Волошинов**);

16. Предусмотрена ли в алгоритмах управления СНЭЭ возможность адаптации к ошибкам прогнозирования нагрузки и генерации, особенно в автономных системах электроснабжения, где отсутствует резерв от централизованной сети? (д.т.н. **Д.В. Волошинов**);

17. Какие технические и экономические ограничения накладывает применение суперконденсаторных СНЭЭ в звене постоянного тока частотно-регулируемых приводов на выбор топологии преобразовательной техники и совместимость с уже установленным оборудованием? (д.т.н. **Д.В. Волошинов**);

18. В какой степени разработанные подходы к замещению вращающегося резерва применимы к газотурбинным электростанциям собственных нужд, где время запуска резервного агрегата может существенно отличаться от газопоршневых? (д.т.н. **Д.В. Волошинов**);

19. Возможно ли масштабирование предложенных решений на объекты малой мощности (до 50 кВт), например, на узлы телемеханики или системы КИПиА, где также критична бесперебойность питания? (д.т.н. **Д.В. Волошинов**).

20. Требуется пояснение, учитывались ли показатели надежности предложенных решений по внедрению СНЭЭ в существующие схемы электроснабжения компрессорных станций в разработанных и предложенных автором алгоритмах? (д.т.н. **В.Н. Толмачев**);

21. В автореферате не показано – какие изменения внесены в существующий показатель LCOS, чем существенно отличается разработанный показатель и может ему присвоить новое название и в его определении расширить область применения? (д.т.н. **В.Н. Толмачев**);

22. Из автореферата неясно, из-за каких ограничений на состав и место установки СНЭЭ невозможно решить задачу обеспечения бесперебойной работы методом LCOS. (д.т.н. **С.М. Сендеров и Д.С. Крупенёв**);

23. Какова доля вращающегося резерва в графиках электрических нагрузок? (д.т.н. **С.М. Сендеров и Д.С. Крупенёв**);

24. Почему при определении зависимости между степенью выравнивания графика электрических нагрузок и экономическим эффектом от проведения данного мероприятия при использовании СНЭЭ за счет

использования разработанного показателя LCOS были выбраны именно такие сценарии? (стр.22). **(д.т.н. С.М. Сендеров и Д.С. Крупенёв);**

25. В выражении (2) автореферата неясно, каким образом определять коэффициент F (доля топливной составляющей в стоимости 1 кВт*ч отпущенной электроэнергии). **(д.т.н. А.В. Мокеев);**

26. В работе рассматривается применение СНЭЭ в качестве источника активной мощности при выравнивании графика нагрузки. Но при этом не рассматриваются процессы потребления и генерации реактивной мощности, которые также оказывают влияние на потребление активной мощности. Каким образом при выравнивании графика нагрузки по активной мощности (за счет применения накопителей энергии) обеспечивается баланс реактивной мощности в электротехнических комплексах объектов газовой отрасли? Рассматривается ли возможность регулирования реактивной мощности за счет внедряемых систем накопления энергии? **(д.т.н. А.В. Мокеев);**

27. В работе предложен метод выбора параметров и алгоритма функционирования суперконденсаторов для обеспечения бесперебойной работы оборудования. Однако, в автореферате не приведено сравнение с существующими методами и методиками, которые позволяют решить такую же задачу. В чем существенное отличие от существующих решений. **(д.т.н. А.В. Мокеев);**

28. В соответствии с основными задачами исследования необходимо было выполнить численное моделирование разработанных автором методов и алгоритмов на примере типовых объектов газовой отрасли. Вместе с тем, в тексте автореферата в явном виде отсутствуют результаты выполненного моделирования. **(д.т.н. В.А. Савельев);**

29. Анализ результатов, представленных в автореферате (рис.3), определяет принятие решения действий по определённому сценарию. Требуется объяснение, на каком основании выбирается, в случае, представленном в автореферате, сценарий 3 и как этот подход реализуется в дальнейших разработанных алгоритмах? **(д.т.н. В.А. Савельев);**

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:

определены основные факторы, определяющие работу системы электроснабжения, что было положено в основу разработки методологии

исследования системы в условиях газовой отрасли, отличающиеся своими особенностями.

разработана методология исследования режимов работы системы электроснабжения, включающая разнообразие схемных решений, разнообразие нагрузочных режимов и собственной генерации с целью определения многофункциональности использования системы накопления электроэнергии (СНЭЭ) для решения проблемы повышения энергоэффективности работы электротехнического комплекса предприятий газовой отрасли (методология представляется в виде адаптированной матрицы Хосин Канри).

предложен унифицированный метод расчёта основных параметров СНЭЭ с использованием в качестве целевой функции минимизацию усовершенствованного показателя нормированной стоимости накопления электроэнергии, позволяющего оптимизировать расчёт мощности и энергоёмкости СНЭЭ при выполнении нескольких функций для любых типов электроснабжения предприятий газовой отрасли.

разработан комплекс алгоритмов функционирования электротехнического комплекса, включая его управление в различных условиях его эксплуатации в условиях, ограничивающего их применение в газовой отрасли, с целью обеспечения бесперебойной работы электроприёмников.

обоснована необходимость решения проблемы по устранению перебоев в электропитании, не решение которой приводит к существенным экономическим потерям для страны.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны положения, представляющие собой решение актуальной научно-технической проблемы обеспечения эффективной эксплуатации электротехнического комплекса по добыче, транспортировки и переработки газа на основе многофункционального применения СНЭЭ, что вносит значительный вклад в устойчивое развитие газовых предприятий и обеспечение энергетической безопасности страны;

выявлен существенный экономический эффект от внедрения СНЭЭ на реальных объектах генерации, добычи и транспортировки газа, так, при замещении вращающегося резерва экономия капитальных затрат будет эквивалентна стоимости одного электроагрегата в составе ЭСН – минимум 150 млн. рублей и эксплуатационных затрат до 50 млн рублей в год;

для решения поставленных задач в диссертации результативно использованы общепризнанные теории, методы и подходы, адекватные математические модели исследуемых систем, численное и имитационное моделирование, методы анализа и обобщения данных, статистические

методы обработки данных на физических объектах инфраструктуры ПАО «Газпром»;

изложена идея возможности применения СНЭЭ в его многофункциональном назначении в составе электротехнических комплексов газовой отрасли при условии повышения бесперебойности и энергоэффективности;

раскрыты противоречия, заключающиеся в отсутствии комплексных решений по обеспечению бесперебойной работы электротехнических комплексов газовой отрасли, а также слабой интеграции СНЭЭ в рассматриваемой отрасли в части обеспечения бесперебойности и энергоэффективности, что определяет актуальность направления исследований;

обоснована зависимость влияния компонентного состава СНЭЭ на область применения и набор решаемых задач;

изучены существующие методы повышения эффективности работы электротехнического комплекса предприятий газовой отрасли;

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

разработаны и внедрены практические рекомендации по выбору схемно-технических решений, компонентного состава, режимов работы и алгоритмов функционирования СНЭЭ в составе электротехнических комплексов объектов добычи, транспорта и переработки газа в производственную деятельность ПАО «Газпром» при разработке проектов в части автономного электроснабжения и в рамках выполнения НИОКР – пилотный проект реализуется в ООО «Газпром трансгаз Ухта», в АО «Газпром промгаз» при выборе СНЭЭ в составе электростанций собственных нужд в перспективных проектах реконструкции электростанций, а также для разработки и создания системы накопления энергии в составе электропривода динамического компрессора на заводе СПГ ООО «Газпром СПГ Портовая»;

представлены рекомендации для выбора структуры, методов и архитектуры алгоритмов, применяемых при выборе параметров СНЭЭ для существенного повышения энергоэффективности работы электротехнического комплекса предприятий газовой отрасли.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены на сертифицированном оборудовании, показана воспроизводимость результатов исследования в различных условиях вариации нагрузки;

теория построена на известных моделях, проверяемых данных, фактах, полученные результаты исследований согласуются с аналогичными результатами отечественных и зарубежных авторов;

использованы результаты отечественного и зарубежного опыта применения СНЭЭ в составе электротехнических комплексов, современные методики сбора и обработки эксплуатационных и экспериментальных данных.

Личный вклад соискателя состоит в проведенном анализе отечественной и зарубежной научной литературы, рассмотрении существующих и перспективных методов обеспечения бесперебойности работы электротехнических комплексов в газовой отрасли, создании оригинального подхода и эффективного решения проблемы устойчивой работы газовой отрасли в целом, выполненных экспериментальных исследованиях эффективности применения накопителей электроэнергии в составе буферных гибридных батарей, разработке теоретических положений и методов выбора основных параметров и компонентного состава СНЭЭ, а также алгоритмов функционирования СНЭЭ в составе электротехнических комплексов объектов газовой отрасли.

В ходе защиты отрицательных мнений не было высказано, критические замечания присутствовали. Соискатель Токарев Иван Сергеевич ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию.

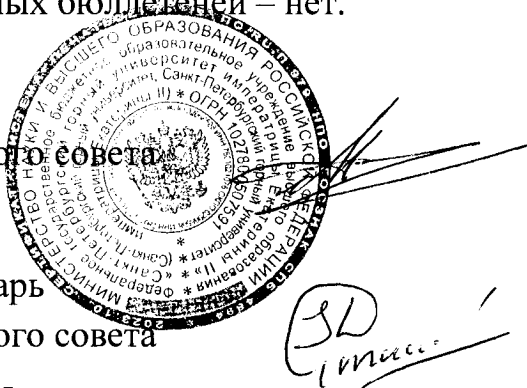
На заседании 29 октября 2025 диссертационный совет принял решение присудить **Токареву Ивану Сергеевичу** ученую степень доктора технических наук за решение актуальной научно-технической проблемы обеспечения бесперебойной и эффективной работы электротехнических комплексов в крупнейшей обособленной отрасли народного хозяйства.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 6 докторов наук (по научной специальности рассматриваемой диссертации), участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 11, против – 1, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета

29.10.2025 г.



Назарычев
Александр Николаевич

Устинов
Денис Анатольевич