

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ГУ 212.224.14  
ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА (ДОКТОРА) НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 24.09.2021 г. №17

О присуждении **Богданову Ивану Андреевичу**, гражданину РФ, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Повышение энергоэффективности автономных электротехнических комплексов нефтегазовых предприятий с использованием вторичных энергоресурсов» по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы принята к защите 22.07.2021 г., протокол заседания № 12, диссертационным советом ГУ 212.224.14 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России; 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия, д. 2; приказ № 1232 адм от 23.09.2019 г. с изм. №1903 адм от 22.12.2020 г., № 662 адм от 06.04.2021 г., № 1383 от 12.07.2021 г.

Соискатель, **Богданов Иван Андреевич**, 13.12.1993 года рождения, в 2017 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника. В период подготовки диссертации с 2017 г. по настоящее время соискатель Богданов Иван Андреевич является аспирантом очной формы обучения кафедры электроэнергетики и электромеханики в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

Справка о сданных кандидатских экзаменах 11/89 выдана 03 июня 2021 г. федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

Диссертация выполнена на кафедре электроэнергетики и электромеханики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России.

Научный руководитель – **Абрамович Борис Николаевич**, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное

образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», кафедра электроэнергетики и электромеханики, профессор кафедры.

Официальные оппоненты:

**Сушков Валерий Валентинович** – доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижевартовский государственный университет», кафедра энергетики, профессор;

**Зацепин Евгений Петрович** – кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Липецкий государственный технический университет», кафедра электрооборудования, заведующий кафедрой. дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **акционерное общество «Газпром промгаз»**, г.Москва, в своем положительном отзыве, подписанном **Сибгатуллиним Артуром Ришатовичем**, кандидатом технических наук, заместителем директора Инженерно-проектного центра «Энергоснабжение» и утвержденном **Попадько Михаилом Владимировичем**, кандидатом экономических наук, и.о. генерального директора указала, что результаты диссертационной работы могут быть использованы при разработке, планировании, организации и проведении комплексных мероприятий по повышению уровня энергосбережения, энергоэффективности, устойчивости и надежности систем электроснабжения в автономных электротехнических комплексах.

Соискатель имеет 6 печатных работах, в том числе в 2 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 4 статьях - в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования (Scopus и Web of Science). Получены 2 свидетельства на программы для ЭВМ.

Общий объем – 2,79 печатных листа, в том числе 1,46 печатных листа – соискателя.

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

1 Богданов, И.А. Повышение энергоэффективности электротехнических комплексов когенерационных установок для электроснабжения объектов нефтегазовых предприятий / Богданов И.А., Веприков А.А., Касьянова А.Н., Моренов В.А. // Международный научно-

исследовательский журнал. Номер: 12-5 (66) Год: 2017. Стр. 59-63. (МБДиСЦ AGRIS)

*Личный вклад соискателя заключается в проведении оценки применения метода синхронизации разнородных генераторов паровой и газовой турбин на шину постоянного тока для питания общего потребителя.*

2. Богданов, И.А. Система тригенерации как средство повышения эффективности бинарных комплексов для производства электрической и тепловой энергии / В.И. Маларев, И.А. Богданов, А.В. Турышева // Промышленная энергетика. – 2020. – № 3. – С. 21-27. – DOI 10.34831/EP.2020.66.67.001.

*Личный вклад соискателя заключается в проведении технико-экономической оценки применения системы тригенерации для повышения эффективности электроснабжения автономных электротехнических комплексов в условиях эксплуатации в южных регионах РФ и стран СНГ.*

**Публикации в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus и Web of Science:**

3 Bogdanov, I.A. The system of trigeneration with binary cycle for use as an energy source for gas fuel / B.N. Abramovich, I.A. Bogdanov, A.V. Kopteva, V.I. Malarev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : International Scientific Electric Power Conference 2019, ISEPC 2019, Saint Petersburg, 23–24 мая 2019 года. – Saint Petersburg: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012092. – DOI 10.1088/1757-899X/643/1/012092. (Scopus)

*Личный вклад соискателя заключается в разработке математической и имитационной моделей системы автоматического управления расходом охлаждающей жидкости для поддержания номинального значения выходной мощности турбогенератора при вариации параметров окружающей среды и проведении оценки результатов моделирования.*

1. Bogdanov, I.A. Algorithm for automatic compensation of voltage dips in power supply of industrial facilities. / Malarev V., Bogdanov I., Senchilo N. // Journal of Applied Engineering Science, 2020, 18(2), pp. 173–180. (Scopus)

*Личный вклад соискателя заключается в оценке методов компенсации провалов напряжения, построении имитационной модели автоматической системы компенсации провалов напряжения и проведении оценки результатов моделирования.*

2. Bogdanov, I.A. Automatic system for compensation of voltage dips in electric power systems of vessels with electric motor / Bogdanov I.A., Senchilo N.D. // Marine Intellectual Technologies. – 2020. – № 3-1(49). – p. 212-218. – DOI 10.37220/MIT.2020.49.3.028. (Web of Science)

*Личный вклад соискателя заключается в оценке применения автоматической системы компенсации провалов напряжения в условиях двигательной нагрузки судов с электродвижением и применения fuzzy – логики для повышения эффективности срабатывания автоматики.*

3. Bogdanov, I.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 Trigeneration Modes / Tokarev I.S., Bogdanov I.A., Serikov V.A. // 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020. (Scopus)

*Личный вклад соискателя заключается в оценке методологий повышения надежности систем электроснабжения и эффективности применения мостиковой структуры в автономных электротехнических комплексах с тригенерационным режимом работы.*

#### **Патенты:**

4. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2018616011 РФ. Имитационная модель системы тригенерации с бинарным циклом для повышения эффективности использования первичного энергоносителя / Б.Н. Абрамович, И.А. Богданов, В.И. Маларев / правообладатель: ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет» (RU); заявл. 26.03.2018, опубл. 21.05.2018 - 1с.

5. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2019611491 РФ. Имитационная модель системы автоматического управления установкой динамической компенсации провалов напряжения / Б.Н. Абрамович, И.А. Богданов, В.И. Маларев / правообладатель: ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет» (RU); заявл. 10.01.2019; опубл. 28.01.2019. 1 с.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты исследований освещались на международных научных конференциях и других научных мероприятиях, в том числе:

– Международной научно-практической конференции «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2018» на базе Горного университета, г. Санкт-Петербург, Россия, 2018г.;

– Международной конференции «69TH Bergund Huttenmannischer Tag 2018» на базе Фрайбергской горной академии, г. Фрайберг, Германия, 6-8 июня 2018 г.;

– XVII Всероссийская конференция-конкурс студентов и аспирантов на базе Горного университета, г. Санкт-Петербург, Россия, 2019г (диплом за III место);

– Международной научно-практической конференции «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2019» на базе Горного университета, г.Санкт-Петербург, Россия, 2019г (диплом за II место);

– «2019 International Scientific Conference on Energy, Environmental and Construction Engineering» на базе Санкт-Петербургского политехнического университета им. Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия, 20 ноября 2019 г.

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

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: заведующего кафедрой ЭППЭ НИУ «МЭИ», к.т.н., доцента **С.А. Цырука**; главного специалиста отдела инспекций и приемки ООО «Арктик СПГ 2» ПАО «НОВАТЭК», к.т.н. **В.Е. Полякова**; ведущего специалиста исследовательского отдела АО «СПИК СЗМА» к.т.н. **И.С. Бабановой**; доцента кафедры «Релейной защиты и автоматики электрических станций, сетей и энергосистем» ФГАОУ ДПО «Петербургский энергетический институт повышения квалификации», к.т.н. **В.В. Полищука**; генерального директора ООО «ЭИС», к.т.н. **С.Е. Лозовского**; профессора департамента энергетических систем ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», д.т.н., доцента **Н.В. Силина**; заведующего кафедрой «Энергетика и энергоэффективность горной промышленности» НИТУ «МИСиС» д.т.н., профессора **А.В. Ляхомского**; доцента той же кафедры, к.т.н., доцента **С.Н. Решетняка**.

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.13 автореферата справедливо отмечается, что нефтегазовые предприятия являются потребителями первой категории. Однако по непонятной причине нагрузки компрессорного цеха и собственных нужд получают питание по нерезевированным схемам электроснабжения, хотя и от двухтрансформаторных подстанций (рис.2). Если это действительно так, то налицо явная ошибка проекта. Тем не менее от каждого из трансформаторов получает питание целый ряд электроприемников, значит на этих КТП со стороны низкого напряжения предусмотрено распределительное устройство. Тогда непонятна подмена

термина «секционный выключатель» на термин «мостиковая схема» (с тем же самым выключателем). (к.т.н. **С.А. Цырук**)

2. Вызывает сомнение утверждение соискателя на стр.14 автореферата, что применение «мостиковых схем» столь существенно повысит показатели надежности «рассмотренных структур». Ну а рекомендация применения в автономных ЭТК НГП топологии с мостиковыми структурами тривиальна. (к.т.н. **С.А. Цырук**)

3. Приведенный на стр. 15 рисунок 3 – Структура СЭС на основе источников РГ с АФ также вызывает ряд вопросов. В работе решаются оптимизационные задачи повышения надежности и экономичности электроснабжения конечных потребителей НГП, а ИБП устанавливаются в цепи питания генераторов, а не электроприемников. Таким образом подразумевается, что мощность каждой из ИБП должна составлять суммарную мощность всех подключенных электроприемников, в противном случае система будет неработоспособна. Обычно ИБП устанавливаются в цепи питания электроприемников особой группы первой категории, мощность которых существенно ниже общей мощности электроприемников. То же самое относится и к месту подключения АФ, как будто решается задача защиты генераторов, а не потребителей. (к.т.н. **С.А. Цырук**)

4. Необходимо пояснить, за счет чего режим тригенерации позволяет снизить капитальные затраты на установленную мощность на 24%, а затраты на ежегодные расходы на 28%. (к.т.н. **В.Е. Поляков**)

5. Необходимо пояснить методику оценки срока окупаемости создания автономного электротехнического комплекса относительно осуществления электроснабжения от ЕЭС (к.т.н. **В.Е. Поляков**)

6. Целесообразно пояснить, проводился ли сравнительный анализ других схем для оценки показателей надежности. По каким критериям была взята именно «мостиковая структура»? (к.т.н. **И.С. Бабанова**)

7. По таблице 1 требуется пояснение в отношении значения коэффициента готовности. Какое значение принималось в качестве нормативного для последующей оценки и сравнения показателей надежности различных вариантов? (к.т.н. **И.С. Бабанова**)

8. По тексту автореферата и диссертации автором неоднократно Программный комплекс Арбитр (ПК АСМ СЗМА) расшифровывается как ПК АРБИТР, ПК «АРБИТР», ПК «Арбитр», программный комплекс «Арбитр» (необходимо обратить внимание на название в свидетельстве о регистрации программного продукта). (к.т.н. **И.С. Бабанова**)

9. Не указана единица измерения мощности газотурбинной установки на рисунке 1; (к.т.н. **В.В. Полищук**)

10. В части технико-экономической оценки применения тригенерационного режима работы в сравнении с альтернативными вариантами не указаны режимы работ рассматриваемых турбогенераторов в зависимости от графиков нагрузки. (к.т.н. **В.В. Полищук**)

11. Необходимо пояснить каким образом охлаждение воздуха на входе в ГТУ позволяет снизить установленную мощность до 40 %. (к.т.н. **С.Е. Лозовский**)

12. Необходимо дать более точную информацию о влиянии внедрения в мостиковую структуру активного фильтра и системы тиристорного автоматического ввода резерва. (к.т.н. **С.Е. Лозовский**)

13. Какие акты о внедрении результатов исследования представлены автором? (д.т.н. **Н.В. Силин**)

14. В работе представлены различные технические решения, направленные на существенное повышение энергоэффективности. Какие заявки на интеллектуальную собственность предполагает подготовить автор? (д.т.н. **Н.В. Силин**)

15. В каких специальных образовательных программах предлагается использование результатов работы? (д.т.н. **Н.В. Силин**)

16. Из представленной структурной схемы системы электроснабжения (рис. 3) непонятно, какая схема активного фильтра использовалась. (д.т.н., **А.В. Ляхомский**, к.т.н., **С.Н. Решетняк**).

17. В автореферате отсутствует схема имитационной модели системы электроснабжения. (д.т.н., **А.В. Ляхомский**, к.т.н., **С.Н. Решетняк**).

18. На рис. 1 не представлена размерность по вертикальной оси. (д.т.н., **А.В. Ляхомский**, к.т.н., **С.Н. Решетняк**).

**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:**

**предложено** применение тригенерационного режима работы электротехнического комплекса с целью повышения энергоэффективности автономных электротехнических комплексов нефтегазовых предприятий путем использования энергии вторичных энергоресурсов;

**обоснована** эффективность применения логико-вероятностного метода для сравнительной оценки показателей надежности различных структур систем электроснабжения путем построения схем функциональной целостности;

**предложен** алгоритм работы активного фильтра в виде многофункционального устройства, способного выполнять функции параллельного и последовательного активных фильтров, а также динамического компенсатора провалов напряжения;

**разработана** система автоматического регулирования расходом охлаждающей жидкости холодильной машины с целью поддержания номинальной мощности турбогенератора с учетом вариации параметров окружающей среды, включая температуру воздуха и высоту над уровнем моря;

**доказана** возможность снижения установленной мощности турбогенератора до 40% путем создания цикла охлаждения воздуха на входе в газотурбинную установку.

**доказано**, что применение мостиковой структуры электроснабжения ответственных потребителей нефтегазового производства с внедрением многофункционального активного фильтра и тиристорного автоматического ввода резерва позволяет повысить уровень надежности электроснабжения в части таких показателей как коэффициент готовности, средняя наработка на отказ, времени восстановления системы и вероятность безотказной работы.

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

**использованы** методы математического и имитационного моделирования электротехнических комплексов и систем автоматического управления в промышленных предприятиях в среде Simulink программы Matlab и программном комплексе «Арбитр», методы теории планирования эксперимента и математической статистики, теории автоматического управления, методы оценки надежности систем электроснабжения;

**изложена** идея необходимости использования энергии вторичных энергоресурсов с целью снижения установленной мощности турбогенератора автономных электротехнических комплексов;

**исследованы** зависимости влияния параметров окружающей среды и эксплуатации над уровнем моря газотурбинных установок на выдаваемую ими мощность;

**изучены** методы использования вторичных энергоресурсов для повышения энергоэффективности автономных электротехнических комплексов, включая когенерационный режим работы и бинарный цикл;

**разработана** в среде MatLab Simulink имитационная модель системы автоматического регулирования расходом охлаждающей жидкости для поддержания номинальной мощности турбогенератора при вариации температуры окружающей среды;

**разработаны** схемы функциональной целостности разделенной и



мостиковой структур электроснабжения для их сравнительной оценки по критериям надежности;

**доказана** эффективность применения мостиковой структуры в автономных электротехнических комплексах по критериям надежности;

**обосновано** применение активных фильтров в качестве многофункционального устройства, способного работать в режимах параллельного фильтра, последовательного фильтра и динамического компенсатора провалов напряжения;

**доказана** эффективность применения тиристорного автоматического ввода резерва в совокупности с динамическими компенсаторами провалов напряжения для осуществления бесперебойного электроснабжения ответственных потребителей;

**проведена** экономическая оценка эффективности применения тригенерационного режима работы с использованием системы автоматического регулирования расходом охлаждающей жидкости.

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

**разработаны** практические рекомендации по использованию вторичных энергоресурсов автономных электротехнических комплексов нефтегазовых предприятий;

**разработана** модель схемы функциональной целостности в программном комплексе АРБИТР для оценки надежности по критериям: коэффициент готовности, средняя наработка на отказ, времени восстановления системы и вероятность безотказной работы;

**сформулированы** предложения для дальнейших исследований в области повышения энергоэффективности и надежности систем электроснабжения автономных электротехнических комплексов нефтегазовых предприятий с использованием вторичных энергоресурсов;

**представлены** рекомендации по построению схем функциональной целостности систем электроснабжения для оценки их показателей надежности путем графической реализации логико-вероятностного метода;

**представлены** рекомендации к использованию результатов исследования при разработке, планировании, организации и проведении комплексных мероприятий по повышению уровня энергосбережения, энергоэффективности, устойчивости и надежности систем электроснабжения в автономных электротехнических комплексах.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**результаты** исследований получены с применением методов математического и имитационного моделирования, теоретического анализа

актуальных методов повышения энергоэффективности и надежности систем электроснабжения;

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

**идея базируется** на результатах анализа и обобщении опыта по методам использования вторичных энергоресурсов с целью повышения энергоэффективности автономных электротехнических комплексов, применения логико-вероятностного метода для оценки систем электроснабжения по критериям надежности;

**использованы** результаты отечественного и зарубежного опыта применения методов осуществления когенерационных и тригенерационных режимов работы автономных электротехнических комплексов и методов оценки надежности систем электроснабжения;

**использованы** современные методики сбора и обработки экспериментальных данных, полученные в реальных промышленных условиях.

**Личный вклад соискателя состоит** в формулировке цели и задач диссертационного исследования; непосредственном участии во всех этапах исследований в рамках поставленных целей и задач; в анализе зарубежной и отечественной научно-технической литературы и нормативных документов на предмет проработанности темы исследования; проведении анализа существующих методов повышения энергоэффективности автономных электротехнических комплексов; формулировке и доказательстве научных положений; разработке методики повышения энергоэффективности и надежности систем электроснабжения автономных электротехнических комплексов нефтегазовых предприятий с использованием вторичных энергоресурсов на основе исследованных существующих методов; разработки моделей исследуемых объектов, интерпретации полученных результатов моделирования, а также в подготовке текстов научных публикаций, диссертации и автореферата и апробации основных положений работы.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель Богданов И.А. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию.

На заседании 24 сентября 2021 года диссертационный совет принял решение присудить **Богданову Ивану Андреевичу** ученую степень кандидата технических наук за решение важной научно-практической задачи

повышения энергоэффективности автономных электротехнических комплексов нефтегазовых предприятий с использованием вторичных энергоресурсов.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании из 18 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 14, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель  
диссертационного совета

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Шпенст Вадим Анатольевич

Коптева Александра Владимировна

24.09.2021 г.