

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. № 16

О присуждении **Батуевой Дарье Евгеньевне**, гражданину РФ, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Повышение энергоэффективности электротехнического комплекса с автономным питанием на основе прогноза энергопотребления с учетом влияния климатических условий» по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы принята к защите 21.07.2021 г., протокол заседания № 10, 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. от № 1903 адм 22.12.2020 г., № 662 адм от 06.04.2021 г., № 1383 адм от 12.07.2021 г.

Соискатель, **Батуева Дарья Евгеньевна**, 18 апреля 1994 года рождения, в 2017 году с отличием окончила 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 Батуева Дарья Евгеньевна является аспирантом очной формы обучения кафедры общей электротехники в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

Диплом об окончании аспирантуры получен 30.07.2020 г.

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

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент **Шклярский Ярослав Элиевич**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», кафедра общей электротехники, заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

Нос Олег Викторович – доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», кафедра проектирования технологических машин, профессор;

Суслов Константин Витальевич – доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет», кафедра электроснабжения и электротехники, заведующий кафедрой;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – акционерное общество «**Научно-технический центр Единой энергосистемы Противоаварийное управление**», г. Санкт-Петербург, в своем положительном отзыве, подписанном **Смирновым Андреем Николаевичем**, кандидатом технических наук, заведующим отделом Электроэнергетических систем и **Щипалкиной Маргаритой Александровной**, секретарем заседания, утвержденном **Крицким Виктором Анатольевичем**, генеральным директором, указала, что результаты диссертационной работы могут быть использованы при реконструкции и проектировании ветродизельных электростанций в рамках концепции развития распределенной генерации на территории России для анализа данных генерации в зависимости от климатических условий региона, в котором расположен объект, а также для прогнозирования энергопотребления электротехнических комплексов, питающихся от ветродизельных электростанций, разработана прогнозная модель энергопотребления на основе модели ARMA, учитывающая влияние изменения внешних климатических условий, которая является масштабируемой и настраиваемой для использования на объектах с коммунально-бытовой нагрузкой, питающихся от ветродизельной электростанции.

Соискатель имеет 22 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 5 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 5 работ, 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 3 статьях - в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования (Scopus). Получен 1 патент.

Общий объем – 2,32 печатных листа, в том числе 1,16 печатных листа – соискателя.

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ:

1. Васильков, О.С. Выравнивание графика нагрузки предприятий за счет применения гибридных накопителей электроэнергии / О.С. Васильков, Д.Е. Батуева, К.А. Хомяков, П.С. Паляницин // Известия МГТУ «МАМИ». – 2020. – №1(43). – С. 27-34.

Личный вклад соискателя состоит в рассмотрении на основе источников литературы различных структур накопителей электроэнергии и возможности применения накопителей электроэнергии для уменьшения времени простоя генерирующего оборудования и снижения удельного потребления топлива.

2. Батуева, Д.Е. Анализ данных генерации электроэнергии в ветродизельном комплексе с использованием алгоритма SSA / Д.Е. Батуева, Я.Э. Шклярский, И.Е. Ревин // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2021. – №6. – С. 69-77.

Личный вклад соискателя заключается в постановке проблемы и задач исследования, интерпретации графиков, полученных по шумовым компонентам, что позволяет впоследствии учесть влияние климатических изменений на работу электрооборудования.

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

3. Batueva, D.E. Increasing efficiency of using wind diesel complexes through intellectual forecasting power consumption / D.E. Batueva, J.E. Shklyarskiy // IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus). – 2019. – PP. 434-436.

Личный вклад соискателя состоит в постановке проблемы и создании алгоритма выбора режима работы в ветродизельном комплексе, а также описании необходимой информации для выявления зависимости энергопотребления от климатических условий.

4. Shklyarskiy, J.E. / The influence of external climatic factors on the accuracy of the forecast of energy consumption / J.E. Shklyarskiy, D.E. Batueva // E3S Web of Conferences. – 2019. – Volume 140. – 04014.

Личный вклад соискателя заключается в определении внешних климатических факторов, оказывающих влияние на энергопотребление, и их степени влияния на изменение потребления; для повышения точности прогнозирования соискателем предложено разбивать данные на рабочие и выходные дни, так как потребление в эти периоды имеет различный характер.

5. Shklyarskiy, J.E. Analysis of schedules and load indicators for the choice of the generation composition in the wind-diesel complex / J.E. Shklyarskiy, **D.E. Batueva** // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Volume 1753(1). – 012010.

Личный вклад соискателя заключается в исследовании показателей графиков нагрузок и определении их значений для последующего учета при выборе состава генерации в ветродизельном комплексе.

Патенты:

6. Свидетельство о регистрации государственной программы для ЭВМ №2021616532. Программа для анализа данных генерации электроэнергии в ветродизельном комплексе с использованием алгоритма SSA на основе языка Python : заявл. 16.04.2021 : опубл. 22.04.2021 / **Батуева Д.Е.**, Шклярский Я.Э.; заявитель Санкт-Петербургский горный университет. – 6 с. : ил.

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

– III международной научной конференции «Арктика: история и современность», г. Санкт-Петербург, 2018 г. Тема доклада: «Повышение эффективности электроснабжения поселковых районов Арктической зоны посредством ветроэнергетических установок».

– Международной конференции «BHT – FREIBERGER UNIVERSITÄTSFORUM» в ТУ «Фрайбергская горная академия», Германия, 2018 г. Тема доклада: «Increasing the efficiency of electricity supply to the settlement areas of the Arctic zone through wind power plants» (*«Повышение эффективности электроснабжения населенных районов Арктической зоны с помощью ветровых электростанций»*).

– Конференции молодых исследователей России по электротехнике и электронике IEEE, г. Санкт-Петербург, 2019 г. Тема доклада: «Increasing efficiency of using wind diesel complexes through intellectual forecasting power consumption» (*«Повышение эффективности использования ветродизельных комплексов за счет интеллектуального прогнозирования энергопотребления»*).

– 62 Международной научной конференции в Горно-геологический университет им. И. Рылски, Болгария, 2019 г. Тема доклада: «Development of an algorithm forecasting the generation of electric energy by a wind diesel complex» (*«Разработка алгоритма прогнозирования выработки электроэнергии ветродизельным комплексом»*).

– International Scientific Conference on Energy, EECE-2019, г. Санкт-Петербург, 2019 г. Тема доклада: «The influence of external climatic factors on the accuracy of the forecast of energy consumption» (*«Влияние внешних климатических факторов на точность прогноза энергопотребления»*).

– III Международном молодежном научно-практическом форуме «Нефтяная столица» 2020 г. Тема доклада: «Прогноз энергопотребления в условиях изменяющегося климата».

– Международной научно-практической конференции «IPDME-2020», г. Санкт-Петербург, 2020 г. Тема доклада: «Анализ графиков и показателей нагрузки для последующего выбора состава генерации в ветродизельном комплексе».

В диссертации Батуевой Д.Е. отсутствуют достоверные сведения об опубликованных работах соискателя, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: главного специалиста отдела инспекции и приемки ООО «Арктик СПГ 2» ПАО «НОВАТЭК», к.т.н. **В.Е. Полякова**; декана факультета Мехатроники и автоматизации ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», к.т.н., доцента **М.Е. Вильбергера** и заведующего кафедрой «Электропривода и автоматизации промышленных установок» ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», к.т.н., доцента **Д.А. Котина**; генерального директора ООО «ЭИС», к.т.н. **С.Е. Лозовского**; профессора Высшей школы электроэнергетических систем ФГАОУ ВО «СПбПУ», д.т.н., профессора **В.Я. Фролова**; профессора департамента энергетических систем ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», д.т.н., доцента **Н.В. Силина**; начальника сектора автоматизации и сетей связи ООО «СПб-Гипрошахт», к.т.н. **Д.М. Безносенко**.

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. При проведении анализа проблем в области автономного электроснабжения Арктических регионов и районов Крайнего Севера не рассматривались варианты осуществления генерации от газопоршневых, а также газотурбинных электростанций, включая микротурбины (к.т.н. **В.Е. Поляков**).

2. На странице 10 (первый абзац) не приведены результаты анализа влияния температуры окружающей среды, сезонности и продолжительности светового дня на изменение количества электроэнергии, потребляемой рассматриваемыми электроприемниками (к.т.н. **В.Е. Поляков**).

3. Не приведены результаты анализа существующих методов прогнозирования, а также обоснование выбора метода SSA, применяемого в работе (к.т.н. **В.Е. Поляков**).

4. На рисунках 2, 3 на вертикальной шкале отсутствуют: обозначение приведенного параметра, а также единицы измерения (к.т.н. **В.Е. Поляков**).

5. Необходимо пояснить, почему на рис. 2, 3, 7, 8 приведены значения временных рядов генерации электроэнергии только в дневное время (к.т.н. **В.Е. Поляков**).

6. Не приведено обоснование уставок работы алгоритм выбора и оценки режима работы электротехнического комплекса, приведенного на рисунке 9, в зависимости от величин скорости ветра и уровня заряда аккумуляторных батарей (к.т.н. **В.Е. Поляков**).

7. Необходимо пояснить, каким образом результаты спрогнозированного ряда выработки электроэнергии дизель-генераторной установкой (далее – ДГУ), приведенные в таблице 1, были применены при оценке эффективности работы объекта исследования (к.т.н. **В.Е. Поляков**).

8. Необходимо пояснить, для какого варианта схемы генерации приведены эксплуатационные расходы, указанные в таблице 4 (к.т.н. **В.Е. Поляков**).

9. Необходимо пояснить методику оценки расхода топлива ДГУ по следующим вопросам:

- какое количество моточасов работы дизельного двигателя в год закладывалось при проведении расчетов;
- каким образом учитывалось изменение расхода топлива дизельного двигателя в зависимости от количества электроэнергии, вырабатываемой ветрогенератором (к.т.н. **В.Е. Поляков**).

10. Необходимо пояснить, каким образом в методике расчета эксплуатационных затрат на ДГУ были учтены расходы, связанные с:

- увеличением количества регламентных ремонтов в зависимости от увеличения наработки моточасов дизельного двигателя в год;
- увеличением затрат на расходные материалы при проведении технического обслуживания и ремонта, вследствие увеличения количества регламентных ремонтов в зависимости от увеличения наработки моточасов дизельного двигателя в год (к.т.н. **В.Е. Поляков**).

11. Помимо функциональной схемы было бы уместным привести электрическую схему электроснабжения до модернизации и после модернизации и предложенных автором решений по повышению эффективности электроснабжения объекта (к.т.н. **М.Е. Вильбергер**, к.т.н. **Д.А. Котин**).

12. Не описаны режимы работы накопителей электрической энергии и их влияние на эффективность работы электротехнического комплекса (к.т.н. **М.Е. Вильбергер**, к.т.н. **Д.А. Котин**).

13. В работе рассматривается модель ARMA, однако, существуют модели, учитывающие сезонность изменения погоды, например, SARIMA. Почему не использовались подобные модели (к.т.н. **С.Е. Лозовский**)?

14. Из автореферата не ясно, каким образом произведен выбор климатических факторов в качестве главных и шумовых компонент метода SSA при анализе ряда генерации электроэнергии (д.т.н. **В.Я. Фролов**).

15. В автореферате не представлено обоснование выбора модели авторегрессии – скользящего среднего (ARMA) в качестве основы для разработки модели прогнозирования энергопотребления (д.т.н. **В.Я. Фролов**).

16. В пунктах 4 и 5 заключения приводится информация о прогнозной модели и результатах моделирования для электротехнического комплекса с автономным питанием. Соответствуют ли эти данные заявленному объекту в Хабаровском крае? Каковы направления дальнейших исследований по данному объекту, когда будет реализовано практическое использование результатов работы (д.т.н. **Н.В. Силин**)?

17. В актуальности сказано, что «результаты использования известных методов прогнозирования могут обладать различной точностью». Однако не ясно, о каких методах идет речь и какое количество методов было рассмотрено, так далее говорится только о методе сингулярного спектрального анализа (к.т.н. **Д.М. Безносенко**).

18. Чем обосновано рассмотрение работ только отечественных ученых (к.т.н. **Д.М. Безносенко**)?

19. На рисунках 2 и 3 не ясно, какой график соответствует исходному, а какой восстановленному временному ряду (к.т.н. **Д.М. Безносенко**).

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:

разработана прогнозная модель энергопотребления на основе модели авторегрессии – скользящего среднего для электротехнического комплекса с автономным питанием от ветродизельной электростанции, учитывающая влияние изменения внешних климатических условий;

предложена методика построения компьютерной модели для прогнозирования энергопотребления на основе спектрального анализа данных о потреблении электрической энергии и с использованием климатических характеристик региона;

предложен алгоритм выбора и оценки режима работы ветродизельной электростанции с соблюдением условия баланса мощностей и критериев устойчивости энергосистемы;

доказано, что применение метода формирования величины генерации в ветродизельном комплексе, основанного на полученных зависимостях потребления электроэнергии от климатических условий с использованием метода спектрального анализа и модели авторегрессии – скользящего среднего, позволяет обосновано выбрать расчетную мощность и состав генерируемых установок в комплексе;

доказано, что планирование необходимых объемов генерации электроэнергии, распределяемой между ветроустановкой и дизель-генераторной установкой, может осуществляться на основе разработанной модели прогнозирования ее потребления с учетом установленных зависимостей от климатических факторов, что повысит эффективность работы автономного электротехнического комплекса.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны положения, вносящие вклад в расширение представлений о применении автономных источников электроснабжения потребителей в особых климатических условиях;

применительно к проблематике диссертации результативно использованы методы численного анализа, статистические методы обработки данных, методы теории электрических цепей и электроснабжения, методы факторного анализа, программирования на языке Python, математического моделирования и прогнозирования;

изложена идея необходимости конкретизации взаимосвязи процесса энергопотребления объектов с автономным питанием и изменения внешних климатических факторов для конкретных регионов на основе разработанной методики построения модели для прогнозирования энергопотребления;

раскрыты противоречия, заключающиеся в различии влияния климатических условий на энергопотребление в зависимости от региона;
изучены различные подходы к применению методов прогнозирования энергопотребления;

изучены конкретные зависимости климатических факторов, отличающиеся от известных различным их влиянием на потребление электроэнергии;

проведена модернизация математической модели прогнозирования генерации энергии с учетом установленных зависимостей от климатических факторов и электрической нагрузки, что позволит осуществлять планирование необходимых объемов генерации электроэнергии, распределяемой между ветроустановкой и дизель-генераторной установкой, повышающее эффективность работы автономного электротехнического комплекса.

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

разработаны рекомендации по формированию методики построения модели для прогнозирования энергопотребления с использованием метода спектрального анализа данных, климатических характеристик и базы данных о потреблении электрической энергии;

разработана прогнозная модель энергопотребления на основе модели авторегрессии – скользящего среднего, учитывающая влияние изменения внешних климатических условий, которая является масштабируемой и настраиваемой для использования на объектах с коммунально-бытовой нагрузкой, питающихся от ветродизельной электростанции;

определены пределы и перспективы практического использования результатов работы в зависимости от региона эксплуатации автономного электротехнического комплекса;

представлены рекомендации к использованию результатов исследования при реконструкции и проектировании автономных ветродизельных электростанций в условиях регионов Крайнего Севера и для прогнозирования энергопотребления электротехнических комплексов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

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 применению моделей прогнозирования энергопотребления для объектов с автономным питанием;

использованы результаты отечественного и зарубежного опыта применения методов спектрального анализа энергопотребления и генерации электроэнергии в ветродизельном комплексе;

установлено качественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по тематике исследования;

использованы современные методики сбора и обработки экспериментальных данных, полученных 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 прогнозирования; формулировке и доказательстве научных положений; разработке методики прогнозирования для объекта с коммунально-бытовой нагрузкой на основе исследованных существующих методов и модели для решения задач прогнозирования энергопотребления; интерпретации полученных результатов моделирования, а также в подготовке текстов научных публикаций, диссертации и автореферата и апробации основных положений работы.

В ходе защиты диссертации было высказано следующее критическое замечание:

– С какой частотой сняты оба графика выработки электроэнергии? Вы анализируете данный сигнал путем спектрального анализа, раскладывая его на семь или тридцать компонент. Значит, если мы применим простую теорему Найквиста, то нам нужны хотя бы две точки на период, лучше пять точек на период. Если 360 мы поделим на 5, то мы получим где-то 70. На мой взгляд, при таком количестве точек спектральный анализ с разложением, как Вы тут анализировали не имеет никакого физического смысла. Поэтому здесь можно было применить достаточно простые фильтры и понять, собственно говоря, тренд. Зачем Вы применяли здесь эти методы, зачем Вы применяли Фурье-анализ? Чтобы получить тренд по 365 точкам, не нужно применять Фурье-анализ – мое мнение (д.т.н. К.В. Гоголинский).

Соискатель Батуева Д.Е. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию:

– Метод применялся для определения спектра изменения нагрузки, а количество точек определялось применяемым в электроснабжении понятием «среднесуточная нагрузка», было выбрано максимально возможное

