

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. № 15

О присуждении **Лаврику Александру Юрьевичу**, гражданину РФ, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Повышение энергоэффективности автономных электротехнических комплексов путем обоснования состава и режимов работы с учётом предиктивных алгоритмов управления нагрузкой» по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы принята к защите 19.07.2021 г., протокол заседания № 9, 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 ректора Горного университета № 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, **Лаврик Александр Юрьевич**, 06.06.1994 года рождения, в 2017 году окончил с отличием федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» по специальности 21.05.04 Горное дело. В 2021 г. соискатель освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» по направлению подготовки 13.06.01 Электро- и теплотехника. Диплом об окончании аспирантуры получен 30.06.2021 г.

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

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент **Жуковский Юрий Леонидович**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», кафедра электроэнергетики и электромеханики, доцент.

Официальные оппоненты:

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;

Васьков Алексей Геннадьевич – кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», кафедра гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии, доцент;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»**, г. Томск, в своем положительном отзыве, подписанном **Ушаковым Василием Яковлевичем**, доктором технических наук, профессором, председателем научно-технического совета Инженерной школы энергетики ТПУ, **Филимоновой Светланой Владиславовной**, секретарём научно-технического совета, утверждённом **Степановым Игорем Борисовичем**, и.о. проректора по науке ТПУ, указала, что теоретическая и практическая значимость работы заключается в:

1. Разработке способа сокращения количества пусков и остановок дизель-генераторных установок в автономных электротехнических комплексах с помощью интеллектуального управления накопителями электроэнергии.

2. Разработке способа управления электрической нагрузкой с прерываемым циклом работы.

Соискатель имеет 5 опубликованных работ, 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 международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получен 1 патент на изобретение.

Общий объем – 2,09 печатных листа, в том числе 0,93 печатных листа – соискателя.

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ:

1. Лаврик, А.Ю. Определение оптимального состава резервируемой гибридной ветро-солнечной электростанции / А.Ю. Лаврик, Ю.Л. Жуковский, Н.А. Максимов // Промышленная энергетика. – 2019. – № 10. – С. 47-53.

Личный вклад соискателя состоит в создании имитационной модели гибридной ветро-солнечной электростанции, резервируемой дизель-генераторными установками, а также анализе результатов оптимизации состава источников и накопителей электроэнергии методом покоординатного спуска по выбранному критерию оптимизации.

2. Лаврик, А.Ю. Особенности выбора оптимального состава ветро-солнечной электростанции с дизельными генераторами / А.Ю. Лаврик, Ю.Л. Жуковский, А.Ю. Лаврик, А.Д. Булдыско // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2020. – № 1. – С. 10-17.

Личный вклад соискателя заключается в оптимизации состава гибридной ветро-солнечно-дизельной электростанции, анализе зависимости целевой функции при итеративном изменении установленной мощности возобновляемых источников энергии, а также зависимости скорости изменения целевой функции от капитальных затрат на энергоустановки на базе возобновляемых источников энергии.

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

3. Lavrik A.Y. Features of the optimal composition determination of energy sources during multi-criterial search in the Russian arctic conditions / Lavrik A.Y., Zhukovskiy Y.L., Buldysko A.D. // Proceedings of the 2nd 2020 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering, REEPE 2020, DOI: 10.1109/REEPE49198.2020.9059215 – 2020. – 9059215.

Личный вклад соискателя заключается в рассмотрении аспектов использования ветро- и фотоэлектрических станций в условиях сурового климата Арктики, а также в выполнении однокритериальной оптимизации состава гибридной электростанции с возобновляемыми источниками энергии.

4. Zhukovskiy Y.L. Potential for electric consumption management in the conditions of an isolated energy system in a remote population / Zhukovskiy Y.L., Lavrik, A.Y., Vasilkov, O.S., Semenyuk, A.V. // Sustainable development of mountain territories, DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-4-583-591. – 2020. – 12(4). – P.583-591.

Личный вклад соискателя заключается в разработке методики предварительной оценки потенциала управления спросом на электроэнергию

хозяйственно-бытовой нагрузки в автономной энергосистеме с дизельной электростанцией.

5. Zhukovskiy Y.L. Energy demand side management in stand-alone power supply system with renewable energy sources / Zhukovskiy Y.L., Lavrik A.Y., Buldysko A.D. // Journal of Physics: Conference Series, DOI: 10.1088/1742-6596/1753/1/012059. – 2021. – Vol. 1753(1). – 012059.

Личный вклад соискателя заключается в рассмотрении возможности интеграции системы управления электрической нагрузкой потребителей в автономную систему электроснабжения населённого пункта, разработке модели взаимодействия потребителей электроэнергии и энергоснабжающей компании и анализе возможного технико-экономического эффекта от интеграции такой системы.

Патенты:

6. Патент № 2726943 Российская Федерация, МПК H02J 9/08 (2006.01), H02P 9/00 (2006.01). Способ снижения расхода топлива дизель-генераторными установками в гибридной электростанции с возобновляемыми источниками энергии: 2020100842: заявл. 09.01.2020: опубл. 17.07.2020 / Лаврик А.Ю., Жуковский Ю.Л.; заявитель СПбГУ. – 16 с.: ил. – Текст: непосредственный.

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

– Международной конференции «69TH Bergund Huttenmannischer Tag 2018» на базе Фрайбергской горной академии, г. Фрайберг, Германия, 6-8 июня 2018 г. Тема доклада: «Оценка снижения эффективности солнечных электростанций из-за нагрева элементов при разработке систем охлаждения фотоэлементов».

– Международной научной конференции «Энерго-ресурсоэффективность в интересах устойчивого развития», г. Томск, Россия, 14-16 ноября 2018 г. Тема доклада: «Резервируемые комбинированные ветро-солнечные электростанции в условиях российской Арктики: вопросы выбора структуры, режимов работы и перспективы использования»

– Международном семинаре «Круглый стол молодых ученых «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2019», г. Санкт-Петербург, Россия, 24 апреля 2019 г. Тема доклада: «Моделирование режимов работы автономного комплекса

электропотребителей и комбинированной ветро-солнечной электростанции, резервируемой дизель-генераторами и аккумуляторами».

– Международной научной конференции на базе Горно-геологического университета «Св. Иван Рильский», г. София, Болгария, 18 октября 2019 г. Тема доклада: «Обоснование состава и режимов работы изолированных энергосистем».

– Международной научно-практической конференции «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2020», г. Санкт-Петербург, Россия, 23-24 апреля 2020 г. Тема доклада: «Управление спросом на энергию в автономной системе энергоснабжения с использованием возобновляемых источников энергии».

– Научной конференции студентов и молодых учёных «Полезные ископаемые России и их освоение», г. Санкт-Петербург, Россия, 09-26 марта 2021 г. Тема доклада: «Разработка программного комплекса для оптимизации состава гибридных электростанций в автономных энергосистемах».

– XIX Всероссийской конференции-конкурсе студентов и аспирантов «Актуальные проблемы недропользования», г. Санкт-Петербург, Россия, 12-16 апреля 2021 г. Тема доклада: «Оптимизация состава гибридных электростанций в автономных энергосистемах».

В диссертации Лаврика А.Ю. 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**; ведущего специалиста исследовательского отдела АО «СПИК СЗМА», к.т.н. **И.С. Бабановой**; генерального директора ООО «СТАРСИСТ+», к.т.н. **П.И. Першина**; заведующего кафедрой «Электрическая техника» ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет», д.т.н., профессора **А.В. Бубнова** и доцента той же кафедры, к.т.н., доцента **А.А. Татевосян**; доцента кафедры «Электротехника и электромеханика» ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», к.т.н., доцента **Е.А. Чабанова**; профессора департамента энергетических систем ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», д.т.н., доцента **Н.В. Силина**; инженера-программиста ООО «Юпитер», к.т.н. **А.И. Барданова**; управляющего директора АО «Шнейдер Электрик» по региону «Северо-Запад», к.т.н. **Н.Ю. Картасиди**.

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. 9 автореферата блок-схема алгоритма комплексного обоснования состава и режимов работы ЭТК с ВИЭ тривиальна и не заслуживает даже минимального описания (к.т.н. **С.А. Цырук**).

2. В главе 2 (автореферата) практически нет сведений о технических характеристиках ДГУ, кроме номинальной мощности и расхода топлива. Однако тип и конструкция установки сильно влияют на условия эксплуатации оборудования, в частности на время непрерывной работы ДГУ. Таким образом за экономическими характеристиками не исследована потенциальная работоспособность всей автономной системы (к.т.н. **С.А. Цырук**).

3. Непонятно, каким образом получена оптимальная конфигурация состава ЭТК в отношении числа и мощности генераторов. Задача выравнивания графика нагрузки описана слишком обще. Её решение не сильно привязано к исследуемому объекту (к.т.н. **С.А. Цырук**).

4. По автореферату не ясно, как оценивались результаты прогнозирования с фактической моделью. Какие рассматривались основные ошибки прогнозирования? (рис.6 б) (к.т.н. **И.С. Бабанова**).

5. В тексте автореферата отсутствует информация о прогнозировании временных рядов с помощью нейронных сетей, однако целесообразно было включить это в автореферат диссертации. Как осуществлялся подбор настроечных параметров нейронных сетей? (к.т.н. **И.С. Бабанова**).

6. В автореферате приведены результаты имитационного моделирования в программе MATLAB Simulink электротехнического комплекса, а на стр. 17 указано, что энергетический баланс обеспечивается выбранным набором оборудования. Можно ли с помощью данного моделирования сделать ещё какие-либо практические выводы? (к.т.н. **И.С. Бабанова**).

7. В тексте автореферата не раскрывается суть физического эксперимента, а график на рисунке 7 требует пояснения. Тем не менее, в тексте диссертации приводится описание графика и эксперимента в целом (к.т.н. **П.И. Першин**, к.т.н. **Е.А. Чабанов**).

8. Допущение о разряде и заряде электрохимических накопителей энергии только номинальными токами, очевидно, ограничивает реальные возможности системы накопления энергии. При развитии работы в

дальнейшем автору рекомендуется учесть возможность разряда накопителей токами, превышающими номинальные, но не превышающими допустимые значения (к.т.н. **П.И. Першин**).

9. Необходимо пояснить, почему в качестве алгоритма выбора оптимальных временных интервалов работы электроприёмников, участвующих в программе управления спросом на электроэнергию, выбран генетический алгоритм (д.т.н. **А.В. Бубнов**, к.т.н. **А.А. Татевосян**).

10. В формуле (2) мощность нагрузки обозначена как P_H , однако в формуле (4) аналогичным образом обозначен коэффициент снижения КПД фотоэлектрических панелей в результате нагрева (д.т.н. **А.В. Бубнов**, к.т.н. **А.А. Татевосян**, к.т.н. **Е.А. Чабанов**).

11. Необходимо пояснить, почему при оптимизации состава автономного электротехнического комплекса в конкретных условиях были выбраны определённые модели ветрогенераторов, фотоэлектрических панелей, дизель-генераторных установок и накопителей электроэнергии (д.т.н. **А.В. Бубнов**, к.т.н. **А.А. Татевосян**).

12. Из текста автореферата не ясно, каким образом функционирует система управления спросом на электроэнергию в моменты возникновения (или прогнозирования) дефицита активной мощности. Имеют ли электроприёмники заранее обозначенный приоритет для участия в событии управления спросом? (к.т.н. **Е.А. Чабанов**).

13. Текст автореферата местами перегружен аббревиатурами, что затрудняет его восприятие (к.т.н. **Е.А. Чабанов**).

14. В автореферате отсутствуют формулы расчёта эксплуатационных затрат, а также численное значение параметров, входящих в эти формулы. В связи с этим затруднено восприятие экономических показателей, приводимых в автореферате (к.т.н. **А.И. Барданов**).

15. Алгоритм управления дизель-генераторами и накопителями энергии, предназначенный для сокращения числа запусков дизель-генератора высокой вероятности его непродолжительной работы на малую нагрузку, представляет собой элемент научной новизны, однако в автореферате его суть раскрыта очень ограниченно (к.т.н. **А.И. Барданов**).

16. В тексте автореферата приведены результаты имитационного моделирования работы автономного электротехнического комплекса в течение суток (рисунок 8), однако все приведённые уравнения описывают статические состояния системы. В этом контексте динамическая модель требует более подробного описания (к.т.н. **Н.Ю. Каргасиди**).

17. Экспериментальные исследования, подтверждающие работоспособность предложенного способа управления электрической

нагрузкой, проводились на имеющемся в лаборатории низковольтном оборудовании Schneider Electric. Рассматривались ли автором устройства на электротехническом рынке, оптимально подходящие для решения поставленных задач? (к.т.н. **Н.Ю. Картасиди**).

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:

предложена методика обоснования состава источников и накопителей электроэнергии автономного электротехнического комплекса с учётом управления электрической нагрузкой, реализованная на базе оптимизационного метода покоординатного спуска;

разработан алгоритм управления дизель-генераторными установками и накопителями электроэнергии в автономных электротехнических комплексах с возобновляемыми источниками энергии, отличающийся подключением к сети электроснабжения накопителей электроэнергии для предотвращения запуска очередной дизель-генераторной установки при высокой вероятности её непродолжительной работы на малую нагрузку;

разработан способ управления электрической нагрузкой в автономных электротехнических комплексах с возобновляемыми источниками энергии, отличающийся применением эвристического алгоритма выбора интервалов работы электроприёмников;

доказано, что повышение энергоэффективности и улучшение технико-экономических и экологических показателей работы автономного электротехнического комплекса с возобновляемыми источниками энергии может быть достигнуто путём применения разработанной методики обоснования состава и режимов работы источников и накопителей электроэнергии с учётом управления электрической нагрузкой;

доказано, что применение разработанных предиктивных алгоритмов управления электропотреблением и управления генерацией позволит повысить энергоэффективность автономного электротехнического комплекса по техническим и экономическим критериям.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:
использованы методы численного анализа, математического моделирования, теории электрических цепей и электроснабжения, машинного обучения;

изложены положения, раскрывающие основные подходы к формированию комплексной методики оптимизации состава оборудования и режимов работы автономных электротехнических комплексов;

изучены различные подходы к построению системы управления электрической нагрузкой;

выявлена взаимосвязь модели применяемого алгоритма управления электрической нагрузкой и результатов оптимизации состава генераторов и накопителей энергии автономного электротехнического комплекса;

проведено компьютерное имитационное моделирование работы автономного гибридного электротехнического комплекса, позволяющее осуществить первичную проверку устойчивости системы при различных сценариях изменения профиля нагрузки и генерации;

проведена экономическая оценка эффективности внедрения алгоритма управления электрической нагрузкой в автономных электротехнических комплексах с возобновляемыми источниками энергии.

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

разработана компьютерная имитационная модель системы с регулятором нечёткой логики для определения целесообразности включения аккумуляторов при возникновении необходимости включения очередной дизель-генераторной установки;

представлены методические рекомендации по синтезу модели искусственной нейронной сети для прогнозирования скорости ветра на основе ретроспективных значений временного ряда;

определены перспективы использования технологии управления электрической нагрузкой в автономных электротехнических комплексах с возобновляемыми источниками энергии;

представлены предложения по дальнейшему совершенствованию методики комплексной оптимизации состава и режимов работы автономных электротехнических комплексов;

представлены рекомендации по использованию предложенной методики оптимизации состава и режимов работы при реконструкции и проектировании автономных электротехнических комплексов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

результаты исследований получены с применением статистических методов обработки данных, математического и имитационного моделирования в программе MATLAB среды Simulink для исследования работы автономного электротехнического комплекса с выбранным набором оборудования в различных режимах работы.

теория построена на апробированных методах 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 обоснованию состава оборудования и режимов работы автономных электротехнических комплексов с возобновляемыми источниками энергии;

использованы результаты отечественного и зарубежного опыта применения методов обоснования состава источников и накопителей электроэнергии, а также обоснования различных алгоритмов управления электропотреблением и генерацией энергии;

установлена взаимосвязь модели применяемого алгоритма управления электрической нагрузкой и результатов оптимизации состава генераторов и накопителей энергии автономного электротехнического комплекса;

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 оптимизации состава и режимов работы электротехнических комплексов; формулировке и доказательстве научных положений; разработке методики оптимизации состава и режимов работы автономных электротехнических комплексов с возобновляемыми источниками энергии; разработке алгоритма управления дизель-генераторными установками и накопителями электроэнергии в автономных электротехнических комплексах; разработке способа управления электрической нагрузкой в автономных электротехнических комплексах с возобновляемыми источниками энергии; интерпретации полученных результатов моделирования, а также в подготовке текстов научных публикаций, диссертации и автореферата и апробации основных положений работы.

В ходе защиты диссертации не было высказано критических замечаний.

Соискатель Лаврик А.Ю. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию по некоторым замечаниям по диссертации и автореферату.

На заседании 24 сентября 2021 года диссертационный совет решил присудить **Лаврику А.Ю.** ученую степень кандидата технических наук за решение важной научно-практической задачи комплексного обоснования состава и режимов работы генераторов и накопителей энергии в автономных электротехнических комплексах.

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 – 13, против – нет, недействительных бюллетеней – нет (1 – не участвовал в голосовании).

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета



Шпенст Вадим Анатольевич

Коптева Александра Владимировна

24.09.2021 г.