

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

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 28.09.2021 г. № 18

О присуждении **Василькову Олегу Сергеевичу**, гражданину РФ, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Повышение энергоэффективности электротехнических комплексов горно-обогатительных предприятий с использованием систем накопления электроэнергии» по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы принята к защите 27.07.2021 г., протокол заседания № 14, 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.

Соискатель, **Васильков Олег Сергеевич**, 1 января 1994 года рождения, в 2017 году с отличием окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника. 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 30.07.2021 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:

Артюхов Иван Иванович – доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», кафедра «Электроэнергетика и электротехника», профессор;

Андреев Евгений Сергеевич – кандидат технических наук, филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске, кафедра «Электроэнергетические системы», доцент.

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»**, в своем положительном отзыве, подписанном **Захаровым Сергеем Александровичем**, кандидатом технических наук, заведующим кафедрой электроснабжения горных и промышленных предприятий и **Барановой Еленой Владимировной**, секретарем заседания, утвержденном **Костиковым Кириллом Сергеевичем**, проректором по научной работе и международному сотрудничеству, указала, что результаты диссертационной работы могут быть использованы на предприятиях горно-обогатительного комплекса для повышения эффективности использования систем накопления электроэнергии за счет применения разработанных алгоритмов определения мест установки и функционирования данных устройств, а представленный алгоритм прогнозирования графиков электрических нагрузок может быть использован в сетевых службах предприятий для эффективного управления нагрузкой.

Соискатель имеет 12 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 6 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 6 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). Получено 1 свидетельство о регистрации государственной программы для ЭВМ.

Общий объем – 3,02 печатных листа, в том числе 0,93 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. – С. 27 – 34.

Соискателем рассматривается возможность применения гибридного накопителя электроэнергии для выравнивания графика нагрузки предприятия. Представлена модель активной схемы гибридного накопителя электроэнергии. Получены результаты имитационного моделирования режимов работы гибридного накопителя электроэнергии.

2. **Васильков, О.С.** Разработка алгоритма определения мест подключения систем накопления электроэнергии / О.С. Васильков, Я. Э. Шклярский – Текст: непосредственный // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – № 4. – С. 165 – 173.

Соискателем рассматривается применение систем накопления электроэнергии для регулирования графика нагрузки предприятия. Представлен разработанный алгоритм определения мест подключения СНЭЭ в энергосистеме, в основе которого лежит выявленный критерий, позволяющий оценить влияние изменения графика нагрузки в одном узле на энергосистему в целом.

Публикации в изданиях, входящих в международную базу данных Scopus:

3. **Vasilkov, O.S.** Features of application hybrid energy storage in power supply systems / O.S. Vasilkov, V.S. Dobysh. – DOI 10.1109/EIConRus.2019.8656802. – Текст: электронный // 2019 IEEE Conference of Russian Young Researches in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus). – 2019. – P. 728-730.

Соискателем проведен сравнительный анализ различных типов накопителей энергии. Разработана имитационная модель гибридного накопителя электроэнергии. Получены результаты имитационного моделирования.

4. Bardanov, A.I. Modeling the process of redistributing power consumption using energy storage system with various configurations to align the electrical loads schedule / A.I. Bardanov, **O.S. Vasilkov**, T.V. Pudkova. –

DOI:10.1088/1742-6596/1753/1/012013. – Текст: электронный // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Volume 1753(1). – 012013.

Соискателем рассматриваются вопросы, связанные с анализом и регулированием графиков электрических нагрузок промышленных предприятий. Получены результаты логико-численного моделирования работы системы накопления электроэнергии с различной конфигурацией.

5. Zhukovsky, Yu. L. Potential for electric consumption management in the conditions of an isolated energy system in a remote population / Yu. L. Zhukovsky, A.Yu. Lavrik, A.V. Semenyuk, **O.S. Vasilkov**. – DOI: 10.21177/1998/4502/2020/12/4/583/591. – Текст: электронный // Sustainable Development of Mountain Territories. – 2020. – №4(46) – P. 583 – 591.

Соискателем рассмотрен способ повышения технико-экономической эффективности изолированных энергосистем малой мощности, основанный на реализации управления электропотреблением. Предложена методика предварительной оценки потенциала управления спросом на электроэнергию хозяйственно-бытовой нагрузки в автономной энергосистеме.

Публикации в прочих изданиях:

6. **Васильков, О.С.** Анализ и регулирование графиков нагрузки промышленных предприятий / А.И. Барданов, О. С. Васильков, Т.В. Пудкова – Текст: электронный // Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2020». – 2020. – С. 452 – 456.

Соискателем представлены основные характеристики графиков нагрузки, которые важно учитывать при их регулировании. Рассмотрена возможность выравнивания графиков нагрузки с использованием накопителей электроэнергии.

Свидетельства:

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020661597. Программа для прогноза суточного графика нагрузки предприятия с использованием различных методов прогнозирования / **О.С. Васильков**, С. В. Соловьев; заявитель и патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет. – № 2020660849; заявл. 24.09.2020, зарегистр. 28.09.2020; опубли. 28.09.2020 – 8 с.

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

– Международная научно-практическая конференция «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2018» – Санкт-Петербург. Тема доклада: «Применение суперконденсаторов в качестве накопителей электроэнергии».

– Международная конференция «International Scientific Electric Power Conference ISEPC-2019», организованная Санкт-Петербургским политехническим университетом Петра Великого (СПбПУ), 2019 – Санкт-Петербург. Тема доклада: «Improving the reliability of power supply of industrial enterprises through the application of hybrid energy storage devices» (*«Повышение надежности электроснабжения промышленных предприятий за счет применения гибридных накопителей электроэнергии»*).

– XVIII Всероссийский конференция-конкурс студентов и аспирантов «Актуальные проблемы недропользования, 2020 – Санкт-Петербург. Тема доклада: «Разработка метода краткосрочного прогнозирования электрических нагрузок».

– Международная научно-практическая конференция «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2020» – Санкт-Петербург. Тема доклада: «Анализ и регулирование графиков нагрузки промышленных предприятий».

В диссертации Василькова О.С. 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**; профессора кафедры «Теоретической электротехники и электрификации нефтяной и газовой промышленности» ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина», д.т.н., профессора **М.С. Ершова**, заведующего кафедрой «Теоретической электротехники и электрификации нефтяной и газовой промышленности» ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина», к.т.н., доцента **А.Н. Комкова**; профессора Высшей школы электроэнергетических систем ФГАОУ ВО «СПбПУ», д.т.н., профессора **В.Я. Фролова**; доцента кафедры «Релейной защиты и автоматики электрических станций, сетей и энергосистем» (РЗиА) ФГАОУ ДПО «Петербургский энергетический

институт повышения квалификации», к.т.н. **В.В. Полищука**; инженера-программиста ООО «Юпитер», к.т.н. **А.И. Барданова**.

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 странице 10, второй абзац, необходимо пояснить, по каким критериям осуществлялась градация систем электроснабжения на уровни (ступени) (к.т.н. **В.Е.Поляков**).

2. На странице 15 необходимо пояснить, методику определения значения величины емкости аккумуляторов, а также каким образом было учтено изменение величины емкости, отдаваемой аккумуляторной батареей в зависимости от величины тока разряда (к.т.н. **В.Е.Поляков**).

3. Не приведены результаты анализа числовых значений зависимости величины THDI выходного тока инвертора от:

- выходной мощности инвертора при заряде и разряде аккумуляторных батарей;
- величины дополнительного сопротивления, подключенного к линии (к.т.н. **В.Е.Поляков**).

4. Исследования второй главы диссертации, связанные с введением критерия оценки эффективности регулирования дисперсии и взаимной корреляции графиков нагрузок в автореферате, следовало подтвердить численными примерами (д.т.н. **М.С. Ершов**, к.т.н. **А.Н.Комков**).

5. В автореферате (и в диссертации) не рассмотрен вопрос о допустимых значениях суммарных гармонических искажений напряжения THDU и тока THDI на выходе накопителя энергии (см. алгоритм на рис. 7). Не ясно, что брать в качестве допустимого значения THDI_{доп}, если в отечественном стандарте ГОСТ 32144-2013 искажения по току не нормируются (д.т.н. **М.С. Ершов**, к.т.н. **А.Н. Комков**).

6. В автореферате не рассмотрен вопрос экономической оценки внедрения СНЭЭ, который на практике для крупных потребителей электроэнергии будет определяющим (д.т.н. **М.С. Ершов**, к.т.н. **А.Н.Комков**).

7. В автореферате недостаточно полно отражен объект исследования, что не позволяет сделать вывод о распространении результатов исследования на предприятия другой отрасли или с другим характером нагрузки (д.т.н. **В.Я.Фролов**).

8. В автореферате имеется ряд незначительных орфографических ошибок (д.т.н. **В.Я.Фролов**).

9. В описательной части алгоритма определения места установки системы накопления электроэнергии (стр. 10) необходимо дать пояснение по какому принципу выделяются узлы и уровни в системе электроснабжения предприятия (к.т.н. **В.В.Полищук**).

10. Учитывая большое количество существующих методов прогнозирования, требуется пояснить, почему в работе рассматривались именно эти методы (стр.13) (к.т.н. **В.В.Полищук**)?

11. Требуется пояснения, по каким критериям необходимо выполнять определение необходимой емкости СНЭЭ (к.т.н. **А.И.Барданов**)?

12. В автореферате сказано, что наиболее перспективна и рекомендуема к использованию в системе накопления литий-ионных аккумуляторных батарей. Необходимо пояснить, были ли проведены сравнения различных типов систем накопления энергии, например, систем сохранения энергии в виде сжатого воздуха, супермаховиков, водородных топливных элементов. Или различных видов аккумуляторных батарей, например, натрий-никель-хлоридный, литий-титанатный, литий-железо-фосфатный и т.д. (к.т.н. **А.И.Барданов**).

13. На рис. 7 показано, что при выполнении условия $THDU \geq THDU_{доп}$ осуществляется расчет уменьшения сопротивления системы X_s . Необходимо пояснить, каким образом рекомендуется снижать сопротивление системы (к.т.н. **А.И.Барданов**)?

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:

предложен новый критерий ΔD_p , позволяющий оценить эффект от регулирования графика нагрузки в узлах системы электроснабжения предприятия;

разработан алгоритм определения места установки СНЭЭ, основанный на применении данного критерия;

разработан комбинированный метод краткосрочного прогнозирования электрических нагрузок;

предложен алгоритм функционирования СНЭЭ на основе разработанного метода краткосрочного прогнозирования графика нагрузки и метода динамического программирования, отличительной чертой которого является нахождение оптимального режима работы СНЭЭ, при котором происходит требуемое выравнивание графика нагрузки, но при этом соблюдается ряд

эксплуатационных ограничений, направленных на продление жизненного цикла накопителя электроэнергии;

выявлены дополнительные критерии (электромагнитная совместимость) при определении размера и структуры СНЭЭ, учитывающие ее влияние на показатели качества электроэнергии в точке подключения;

предложен алгоритм выбора методов и средств по обеспечению электромагнитной совместимости СНЭЭ;

доказано, что применение разработанного алгоритма определения места установки СНЭЭ, в основе которого лежит оценка изменения дисперсии графиков нагрузки узлов системы электроснабжения предприятия, позволяет добиться наибольшего эффекта от регулирования графиков нагрузки;

доказано, что требуемый уровень выравнивания графика нагрузки с учетом эксплуатационных ограничений СНЭЭ может быть достигнут за счет применения разработанного алгоритма функционирования системы накопления электроэнергии, основанного на методах краткосрочного прогноза электрических нагрузок и методе динамического программирования.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

использованы методы численного анализа, методы теории электрических цепей и электроснабжения, стандартные методы математического и имитационного моделирования;

изложена идея применения алгоритмов определения места установки и функционирования систем накопления электроэнергии для повышения эффективности регулирования графиков нагрузки;

обоснована необходимость разработки новых методов, связанных с определением места установки, алгоритма функционирования и структуры СНЭЭ;

выявлена зависимость между значением ΔD_p и эффективностью регулирования графиков нагрузки том или ином узле;

доказано, что при увеличении значения ΔD_p повышается эффективность регулирования графика нагрузки в том или ином узле. В случае если ΔD_p имеет отрицательное значение, установка СНЭЭ в выбранном узле не рекомендуется;

разработана модель прогнозирования графиков электрических нагрузок, в которой совмещены классические и интеллектуальные методы прогнозирования;

обосновано применение метода динамического программирования для определения оптимального режима функционирования системы накопления электроэнергии;

проведено компьютерное моделирование СНЭЭ и установлено, что в случае электроснабжения нелинейной нагрузки фильтр уменьшает искажения в напряжении практически до существующего состояния искажений в напряжении до подключения инвертора;

проведены экспериментальные исследования СНЭЭ и установлено, что с увеличением выходной мощности инвертора снижается THDI выходного тока.

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

разработан алгоритм по определению мест установки СНЭЭ на основе впервые введенного критерия оценки изменения дисперсии и взаимной корреляции графиков нагрузки узлов системы электроснабжения, который позволит повысить эффективность использования данных устройств на предприятиях горно-обогатительного комплекса;

разработан алгоритм прогнозирования графиков электрических нагрузок, который может быть использован в сетевых службах предприятий для эффективного управления нагрузкой;

разработан алгоритм управления СНЭЭ, который позволит повысить эффективность эксплуатации накопителей электроэнергии, продлить срок их службы и может быть использован на предприятиях, эксплуатирующих данные устройства;

предложен алгоритм выбора методов и средств по снижению влияния СНЭЭ на качество электроэнергии, что позволит эффективнее интегрировать данные устройства на предприятиях;

сформулированы предложения для дальнейших исследований методик определения места установки системы накопления электроэнергии, а также развития алгоритмов функционирования подобных систем.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

результаты исследований получены с применением статистических методов обработки данных, методов факторного анализа и апробированного программно-моделирующего комплекса Matlab Simulink;

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 СНЭЭ в системах электроснабжения;

использованы результаты отечественного и зарубежного опыта разработки алгоритмов формирования оптимальных режимов работы СНЭЭ;

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 прогнозирования и оптимизации; формулировке и доказательстве научных положений; разработке алгоритмов определения места установки и функционирования СНЭЭ на основе исследованных существующих методов, 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 Васильков О.С. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию по обоснованию положений диссертационной работы.

На заседании 28 сентября 2021 года диссертационный совет решил присудить **Василькову Олегу Сергеевичу** ученую степень кандидата технических наук за решение важной научно-практической задачи повышения энергоэффективности электротехнических комплексов горно-обогатительных предприятий за счет регулирования графиков нагрузки с использованием разработанных алгоритмов определения мест установки и функционирования систем накопления электроэнергии.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании из 18 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 16, против – нет, ~~недействительных бюллетеней – нет.~~

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета



Шпенст Вадим Анатольевич

Коптева Александра Владимировна

28.09.2021 г.