

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.173.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» МИНОБРНАУКИ РФ, ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 14 апреля 2022 г. протокол №2

О присуждении Пранкевичу Глебу Александровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация на тему «Разработка математической модели и методики выбора параметров накопителя энергии как элемента энергосистемы» по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы принята к защите 28 декабря 2021 г. (протокол заседания № 19 диссертационным советом Д 212.173.01 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Минобрнауки РФ, 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, приказ о создании диссертационного совета №156/нк от 01.04.2013 г.

Соискатель Пранкевич Глеб Александрович, «08» июля 1993 года рождения. В 2015 соискатель окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» по направлению 13.04.02 – «Электроэнергетика и электротехника», присуждена степень «Магистр». С 01.09.2015 г. по 31.08.2019 г. обучался в очной аспирантуре в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Минобрнауки РФ, по направлению: Электро- и

теплотехника; профиль: Электрические станции и электроэнергетические системы; шифр: 13.06.01.

Соискатель работает инженером на кафедре Автоматизированных электроэнергетических систем Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Минобрнауки РФ.

Диссертация выполнена на кафедре Автоматизированных электроэнергетических систем Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Минобрнауки РФ.

Научный руководитель – Зырянов Вячеслав Михайлович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», кафедра «Автоматизированные электроэнергетические системы», доцент.

Официальные оппоненты:

Новиков Николай Леонтьевич, доктор технических наук, старший научный сотрудник, Акционерное общество «Научно-технический центр Федеральной сетевой компании Единой энергетической системы», г. Москва, Заместитель научного руководителя АО «НТЦ ФСК ЕЭС»,

Смоленцев Николай Иванович, кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики», г. Новосибирск, ректорат, помощник ректора по научной работе,

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, отделения электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики Национального исследовательского Томского политехнического университета и Филимоновой Светланой Владиславовной секретарем научно-технического совета Инженерной школы энергетики Национального исследовательского Томского политехнического университета, и утвержденном Сухих Леонидом Григорьевичем, доктором технических наук, проректором по науке и трансферу технологий Национального исследовательского Томского политехнического университета, указала, что диссертация Пранкевича Глеба Александровича является законченной научно-квалификационной работой, соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

Соискатель имеет 28 опубликованных работ, в том числе 4 статьи опубликованы в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень рекомендованных ВАК РФ; 9 публикаций, индексируемых в наукометрических базах данных Scopus и Web of Science, 15 публикаций в сборниках материалов и трудов научных конференций, форумов всероссийского и международного уровня. Получен 1 патент на изобретение. Недостоверные сведения об опубликованных работах отсутствуют. Авторский вклад в опубликованных в соавторстве работах составляет не менее 60%. Общий объём научных изданий – 12,6 п.л.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

Научные статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК

1. **Пранкевич Г.А.** Методика расчета основных параметров накопителя энергии по экспериментальным нагрузочным диаграммам / В. М. Зырянов, Н. Г. Кирьянова, Г. А. Пранкевич, Д. Ю. Балув // Вестник Иркутского государственного технического университета. - 2018. - Т. 22, № 5. - С. 105-114.

2. **Пранкевич Г.А.** Энергетические характеристики гибридной системы накопления электрической энергии / В. М. Зырянов, Н. Г. Кирьянова, Г. Б. Нестеренко, Г. А. Пранкевич, А. М. Потапенко // Энергия единой сети. - 2018. – №6 (42). – С. 34–43.
3. **Пранкевич Г.А.** Системы накопления энергии: российский и зарубежный опыт / В.М. Зырянов, Н.Г. Кирьянова, И.Ю. Коротков, Г.Б. Нестеренко, Г.А. Пранкевич // Журнал «Энергетическая политика». - 2020. - №6 (148). – С. 76-87.
4. **Пранкевич Г.А.** Испытания промышленного образца системы накопления энергии СНЭ-10-1200-400 при совместной работе с ГПУ в составе / П.А. Бачурин, Д.С. Гладков, В.М. Зырянов, С.В. Кучак, Д.Е. Лебедев, Г.Б. Нестеренко, Г.А. Пранкевич, А.Н. // Журнал «Электроэнергия. Передача и распределение». – 2020. - №2(59). – С.18-25.
Публикации в научных изданиях, индексируемых в базе данных Scopus / Web of Science
5. **Prankevich G.A.** Mathematical model of energy storage for the calculation of electromechanical processes in power systems / V. M. Zyryanov, N. G. Kiryanova, G. B. Nesterenko, A. M. Potapenko, G. A. Prankevich // EAI Endorsed Transactions on Energy Web and Information Technologies. - 2019. - Iss. 21. - Art. ew 19: e4 (5p.) - DOI: 10.4108/ eai.13-7-2018.155645.
6. **Prankevich G.A.** Assessment of energy storage effect into automatic reclosing in smart grid / O. Gorte, N. Kiryanova, M. Khmelik, A. Arestova, D. Baluev, G. Prankevich, V. Markin // 5 International youth conference on energy (IYCE) : proc., Italy, Pisa, 27–30 May 2015. – IEEE, 2015. – Art. 7180757. - ISBN 978-1-4673-7171-1. - DOI: 10.1109/IYCE.2015.7180757.
7. **Prankevich G.A.** Energy storage device application for load oscillations damping in isolated power systems / N. G. Kiryanova, D. Y. Baluev, G. A. Prankevich, V. M. Zyryanov // Actual issues of mechanical engineering (AIME 2017) : proc. of the intern. conf., Tomsk, 27–29 July 2017. – Paris : Atlantis Press, 2017. – P. 325-330. - (Advances in Engineering Research ; vol. 133). - ISBN 978-94-6252-406-4. - DOI: doi:10.2991/aime-17.2017.53.

8. **Prankevich G.A.** Technical and economic efficiency analysis of the energy storage systems use in off-grid power systems [Electronic resource] / G. B. Nesterenko, G. Prankevich, S. A. Eroshenko, R. Chuvashhev, V. M. Zyryanov // Proceedings of the 7 international conference on electrical energy systems (ICEES 2021), India, Chennai, 11–13 Febr. 2021 : virtual conf. – Chennai : IEEE, 2021. – P. 68-72. - Mode of access: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9383742>. - Title from screen - DOI: 10.1109/ICEES51510.2021.9383742. - Работа выполнена: при поддержке Russian Foundation for Basic Research, research project No. 20-38-90182.
9. **Prankevich G.A.** Experimental accuracy assessment of energy storage system mathematical model [Electronic resource] / V. Guzhavina, G. B. Nesterenko, G. Prankevich, D. S. Gladkov, V. M. Zyryanov, J. V. Mokrousova // Proceedings of the 2020 Ural Smart Energy Conference (USEC) Ekaterinburg, 13–15 Nov. 2020. – Ekaterinburg : IEEE, 2020. – P. 110-113. - Mode of access: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9281262>. - Title from screen - ISBN 978-1-7281-9706-7. - DOI: 10.1109/USEC50097.2020.9281262
10. **Prankevich G.A.** Energy storage devices for low-frequency oscillations suppression in isolated power systems [Electronic resource] / D. Baluev, N. Kiryanova, G. Prankevich, V. Zyryanov // The 13 International forum on strategic technology (IFOST 2018) : proc., Harbin, China, 30 May - 1 June, 2018. – Harbin, 2018. – P. 694-698. - 1 flash card (CFP18786-USB). – Title with the label. - ISBN 978-1-5386-5073-8/18.
11. **Prankevich G.A.** Mathematical model of energy storage for the calculation of electromechanical processes in power systems / V. M. Zyryanov, N. G. Kiryanova, G. B. Nesterenko, A. M. Potapenko, G. A. Prankevich // EAI Endorsed Transactions on Energy Web and Information Technologies. - 2019. - Iss. 21. - Art. ew 19: e4 (5p.) - DOI: 10.4108/ eai.13-7-2018.155645.
12. **Prankevich G.A.** Mathematical model of the energy storage system in the power system / P. A. Bachurin, V. M. Zyryanov, N. G. Kiryanova, S. V. Kuchak, G. B. Nesterenko, G. A. Prankevich [et al.] // Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП–2018) = Actual problems of electronic

instrument engineering (APEIE–2018) : тр. 14 междунар. науч.-техн. конф., Новосибирск, 2–6 окт. 2018 г. : в 8 т. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2018.

13. **Prankevich G.A.** Identification of parameters for the hybrid electrical energy storage system in autonomous power system / S. A. Eroshenko, G. B. Nesterenko, V. M. Zyryanov, N. G. Kiryanova, G. A. Prankevich // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2020. - Vol. 836 : 4 International Conference on Reliability Engineering (ICRE 2019). - Art. 012008 (5 p.). - DOI: 10.1088/1757-899X/836/1/012008.

Патент на изобретение Российской Федерации:

14. Патент 2736701 Российская Федерация, МПК G06N 7/00(2006.01). Система и способ построения модели энергосистемы и проведения расчетов режимов энергосистемы и модель системы накопления электрической энергии, предназначенная для включения в систему / Нестеренко Глеб Борисович, Зырянов Вячеслав Михайлович, **Пранкевич Глеб Александрович**, Удовиченко Алексей Вячеславович, Гужавина Варвара Владимировна; Заявка: 2020113079, 2020.04.08; Опубликовано: 2020.11.19

На автореферат поступило 6 отзывов, все отзывы положительные:

1. АО «НТЦ ЕЭС», заместитель руководителя дирекции по развитию энергосистем-директор по развитию энергосистем АО «НТЦ ЕЭС», кандидат технических наук Волков Максим Сергеевич; главный специалист отдела развития энергетических систем в г. Москва дирекции по развитию энергосистем АО «НТЦ ЕЭС», кандидат технических наук Субботин Павел Владимирович; ведущий специалист отдела развития энергетических систем в г. Москва дирекции по развитию энергосистем АО «НТЦ ЕЭС», кандидат технических наук Дворкин Дмитрий Валентинович. *Вопросы:* 1) о совместимости разработанной модели с программными вычислительными комплексами. 2) о колебаниях мощности на натуральных осциллограммах. 3) об учете в разработанных методиках расчета параметров СНЭ наличие других СНЭ в энергосистеме. 4) о преимуществах выбора параметров СНЭ по результатам расчётов электромеханических переходных процессов.

2. **ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет»**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Энергоснабжение промышленных предприятий» Горюнов Владимир Николаевич; кандидат технических наук, доцент кафедры «Энергоснабжение промышленных предприятий» Гиршин Станислав Сергеевич. *Вопросы:* 1) об отсутствии в автореферате расшифровки обозначения «ДГУ»; 2) об отсутствии в автореферате дифференциальных уравнений разработанной модели; 3) об учете экономических критериев при выборе параметров накопителей энергии.

3. **ООО «Экра»**, руководитель группы общества с ограниченной ответственностью «ЭКРА», кандидат технических наук, Петров Владимир Сергеевич; инженер-исследователь 3 кат. *Вопросы:* 1) об эффективности использования разработанной модели в режимах, близких к потере устойчивости; 2) о технических требованиях к разработанной модели.

4. **ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»**, профессор кафедры Электроэнергетических систем и электротехники, доктор технических наук, профессор Сальников Василий Герасимович. *Вопросы:* 1) о применимости разработанной автором методики для расчета параметров многофункционального накопителя; 2) об оптимальном уровне заряда накопителя; 3) о сроке службы накопителей; 4) о поддержании уровня заряда при стохастическом характере работы накопителя; 5) об актуальных областях применения накопителей энергии.

5. **ФГБОУ ВО «Саяно-Шушенский филиал Сибирского федерального университета»**, к.т.н., доцент, и. о. заведующего кафедрой гидроэнергетики, гидроэлектростанций, электроэнергетических систем и электрических сетей Ачитаев Андрей Александрович. *Вопросы:* 1) о типах накопителей, пригодных для моделирования по разработанной модели; 2) об установке промышленных образцов систем накопления энергии (СНЭ) на объектах энергетики; 3) об отсутствии в автореферате пояснений к коэффициентам перевода единиц в уравнениях; 4) о скачке мощности дизель-генераторной установки при моделировании.

6. **ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»**, доцент кафедры «Электроэнергетика», Политехнического института, к.т.н, доцент Тремясов Владимир Анатольевич. *Вопросы:* 1) об отсутствии структурной электрической схемы в автореферате. 2) о типах аккумуляторов и силовых преобразователях, использованных в натуральных экспериментах. 4) о технико-экономической эффективности применения СНЭ.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем что, область научных интересов **Новикова Николая Леонтьевича**, доктора технических наук, заместителя научного руководителя Акционерного общества «Научно-технический центр Федеральной сетевой компании Единой энергетической системы» связаны с задачами исследования, разработки, внедрения и управления системами накопления энергии.; сфера научных интересов и тематика исследований **Смоленцева Николая Ивановича**, кандидата технических наук, доцента Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» связаны с разработкой и исследованиями электромеханических и сверхпроводящих накопителей энергии. На 30.06.2022 г. назначена защита докторской диссертации Смоленцева Н.И. на тему «Разработка устройств накопления электрической энергии с применением эффекта сверхпроводимости, способов управления и методов оптимизации энергетических потоков в системах электроснабжения» (специальность 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы»).

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (НИ ТПУ), г. Томск, так как в Отделении электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики активно занимаются вопросами применения систем накопления энергии в электроэнергетической отрасли, что соответствует проблематике диссертации Пранкевича Г.А. и подтверждается трудами ее ведущих ученых и специалистов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны две новые методики выбора основных параметров накопителей энергии, базирующиеся на анализе амплитудно-частотных характеристик нагрузочных диаграмм, полученным по результатам мониторинга режимных параметров энергообъекта, и на анализе нагрузочной диаграммы, рассчитанной по математической модели;

Математическая модель системы накопления энергии (СНЭ), пригодная для интеграции в программно-вычислительные комплексы для расчетов электромеханических переходных процессов в энергосистемах. Модель позволяет рассчитывать СНЭ конечной энергоёмкости с аккумулирующими элементами различной физической природы, учитывающая взаимосвязь накопленной энергии накопителя и располагаемой мощности;

предложена оригинальная методика обработки результатов мониторинга режимных параметров энергообъекта, основанная на теории мгновенной мощности и быстром преобразовании Фурье, позволяющая рассчитывать амплитудно-частотные характеристики нагрузочных диаграмм по активной и реактивной мощности, которые являются основой для разработки алгоритмов управления СНЭ.

доказана перспективность использования предложенных методик расчета параметров и математической модели СНЭ для выбора эффективных алгоритмов управления активной и реактивной мощностью.

введена в практику расчётов параметров накопителей энергии изменённая трактовка известного понятия «амплитудно-частотная характеристика», применённая к анализу графиков нагрузки энергообъектов.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны преимущества использования разработанных методик для выбора параметров СНЭ, предназначенных для решения ряда актуальных задач управления мощностью, а также использования разработанной модели СНЭ в составе наиболее востребованных программно-вычислительных комплексов

для расчета электромеханических переходных процессов энергосистем с накопителями энергии.

применительно к проблематике диссертации результативно использованы традиционные методы научного исследования, в том числе математического, физического моделирования и натурального эксперимента; **изложены** аргументы, подтверждающие, что разработанные методики дают минимально необходимые значения мощности и энергоемкости СНЭ для решения конкретных технических задач;

раскрыты и выявлены основные особенности учета накопителей различных типов при моделировании электромеханических процессов в условиях энергообмена с системой;

изучены причинно-следственные связи, определяющие зависимости располагаемой мощности различных типов аккумулирующих элементов от уровня заряда;

проведена модернизация существующих методик расчета параметров и режимов работы СНЭ при условии конечной энергоёмкости аккумулирующего элемента.

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

разработаны и внедрены методики и математическая модель, которые используются в практике предприятия, производящего промышленные СНЭ, а также в учебном процессе Новосибирского государственного технического университета, о чем свидетельствуют акты внедрения;

определены перспективы практического использования предложенного способа построения модели СНЭ в задачах, требующих расчета электромеханических переходных процессов в энергосистемах;

создана система практических рекомендаций по проведению мониторинга режимных параметров энергообъекта с целью определения параметров СНЭ.

представлены методические рекомендации по расчету параметров СНЭ: мощности, обменной энергоемкости, номинальной энергоемкости;

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ – сопоставление результатов натуральных экспериментов в автономной электростанции с расчётами на математической модели подтвердили её достоверность;

теория построена на известных, проверяемых данных и фактах, согласуется с опубликованными в зарубежных и российских изданиях теоретическими и экспериментальными данными по теме диссертации;

идея базируется на анализе практики и обобщения передового опыта разработки и проектирования систем накопления энергии;

использованы данные современных исследований по методикам расчета параметров СНЭ, модели СНЭ, используемые в промышленных программно-вычислительных комплексах, адаптированы автором диссертации для разработки новых методик расчета параметров СНЭ и способов построения ее модели;

установлено качественное и количественное совпадение полученных автором результатов и выводов, сделанных на их основании, с результатами, представленными в независимых источниках;

использованы современные вычислительные методы компьютерного моделирования, методы сбора и обработки информации и анализа данных.

Личный вклад соискателя состоит в определяющем участии соискателя на всех этапах работы; а именно, в постановке задач, анализе и обобщении полученных результатов, самостоятельной разработке и апробации математических моделей. При подготовке основных публикаций по выполненной работе вклад соискателя в статьях, выполненных в соавторстве, составляет не менее 60%.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1) не представлены модели системы управления СНЭ. 2) не рассмотрен вопрос выбора оптимального диапазона изменения накопленной энергии и способа его поддержания в условиях энергообмена. 3) не рассмотрен вопрос, выбора параметров СНЭ при выполнении нескольких функций одновременно.

Соискатель Пранкевич Г.А. квалифицированно ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию.

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития электроэнергетических систем, и соответствует пп. 9-14 Положения о присуждении учёных степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.


На заседании 14 апреля 2022 г. диссертационный совет принял решение **за** решение научной задачи, имеющей значение для развития электроэнергетики, присудить Пранкевичу Глебу Александровичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **15** человек, из них **8** докторов наук по специальности защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из **19** человек, входящих в состав совета, дополнительно введенных на разовую защиту **нет**, проголосовали: за **13**, против **нет**, недействительных бюллетеней **2**.

Председатель диссертационного со

Ученый секретарь диссертационно

14 апреля 2022 г.

 А.Г. Фишов

А.А. Осинцев