

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по науке и трансферу
технологий

иального
звательского Томского
хнического университета

Суших Л.Г.

03

2022 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» на диссертацию Пранкевича Глеба Александровича «РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И МЕТОДИКИ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ КАК ЭЛЕМЕНТА ЭНЕРГОСИСТЕМЫ», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 - Электрические станции и электроэнергетические системы

1. Актуальность темы

Применение систем накопления энергии (СНЭ) в электроэнергетических системах – одно из основных направлений развития современной электроэнергетики. Актуальность темы диссертации обусловлена необходимостью проведения широкого круга научно-исследовательских работ по различным аспектам применения многофункциональных СНЭ для решения разнообразных задач управления в энергосистемах. В диссертации Пранкевича Г.А. поставлена цель: разработать математическую модель СНЭ, предназначенную для расчётов переходных электромеханических процессов в энергосистемах, и

реализуемую на базе основных промышленных ПВК, используемых в практике электроэнергетических расчётов. Кроме того, в диссертации ставится задача расчёта основных параметров СНЭ на основе формализованной процедуры, основывающейся на частотном анализе нагрузочной диаграммы объекта применения СНЭ.

Тема диссертационной работы актуальна, отвечает потребностям современной электроэнергетической отрасли и представляет несомненный научный и практический интерес.

2. Соответствие паспорту специальности

Содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы», по следующим пунктам:

- п.6 - «Разработка методов математического и физического моделирования в электроэнергетике»;
- п. 7 - «Разработка методов расчета установившихся режимов, переходных процессов и устойчивости электроэнергетических систем»;
- п. 13 - «Разработка методов использования ЭВМ для решения задач в электроэнергетике».

3. Структура, объем и содержание диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы, включающего в себя 62 наименования, и 2 приложения. Общий объём работы составляет 159 страниц, включая 60 таблиц и 10 рисунков.

Во введении представлена общая характеристика работы, обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи исследования, представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов, внедрение и апробация полученных результатов, сформулированы выносимые на защиту положения.

Первая глава посвящена обзору мирового и отечественного опыта применения СНЭ в различных областях электроэнергетики. Современные технологии накопления энергии для ряда актуальных областей применения уже сегодня обеспечивают рентабельность проектов.

Вторая глава посвящена математическому моделированию СНЭ в составе электроэнергетической системы.

Для оценки целесообразности разработки модели СНЭ (в составе энергосистем) для расчета электромеханических переходных процессов и установившихся режимов выполнен анализ применимости современных ПВК (PowerFactory, MATLAB – Simulink, ETAP, EUROSTAG, RUSTab, PSCAD) для подобных расчётов. Результаты анализа возможностей ПВК, показали, что они либо не имеют в своей инструментарии готовые к использованию математические модели СНЭ, либо предлагаемые ими модели не учитывают в достаточной мере характеристики основных элементов СНЭ и особенности их функционирования в составе энергосистемы.

С учетом выявленных недостатков существующих моделей СНЭ и с учётом особенностей расчета электромеханических переходных процессов сформулированы требования к математической модели СНЭ как элемента энергосистемы. Предложен новый способ моделирования и разработана математическая модель, позволяющие рассчитывать переходные электромеханические процессы с учётом динамики энергообмена для различных типов накопителей энергии при соблюдении единства переходных процессов в подсистеме накопления энергии и в энергосистеме.

Третья глава посвящена верификации математической модели СНЭ. Верификации проводилась сопоставлением результатов расчётов по математической модели с результатами натурных опытов, выполненных на экспериментальной автономной энергосистеме в составе: ДГУ мощностью 125 кВА, ступенчато коммутируемая активно-индуктивная нагрузка и СНЭ мощностью 100 кВА и энергоёмкостью 153 кВт·час, с результатами расчётов на математической модели. Математическая модель СНЭ для расчётов

электромеханических переходных процессов показала достаточное для инженерных целей качественное и количественное совпадение результатов эксперимента и расчётов по основным характерным режимным параметрам.

Четвертая глава посвящен анализу применения теории мгновенной мощности (ТММ) и быстрого преобразования Фурье (БФП) для обработки результатов мониторинга режимных параметров энергообъекта для последующего расчета параметров СНЭ по предложенным в работе методикам расчета.

Пятая глава посвящена разработке методик выбора основных параметров СНЭ. Предварительно выполнен анализ методик, предлагаемых зарубежными и отечественными авторами. Их анализ показал, что:

1. В литературе отсутствуют методики расчета параметров для группы задач, в которых СНЭ работает в условиях резкопеременной и стохастической нагрузки.

2. Отсутствуют методики расчета параметров, основывающиеся на расчётах электромеханических переходных процессов в энергосистемах со СНЭ при заданном алгоритме её работы. Разработанные в диссертации методики восполняют этот пробел.

Шестая глава посвящена анализу примеров применения разработок автора в практической деятельности производственного предприятия ООО «СНЭ». Автор принимал непосредственное участие в проведении испытаний промышленного образца СНЭ-10-1200-400 мощностью 1200 кВА и энергоёмкостью 400 кВт·час, в части разработки программ и методик испытаний. При проведении испытаний были использованы разработки автора по моделированию СНЭ и методик расчета её параметров.

В заключении представлены обобщающие выводы по диссертационной работе.

4. **Степень обоснованности и достоверности научных выводов, положений рекомендаций**

Научные выводы и положения диссертации основываются на корректном применении методов математического моделирования, физического и натурального экспериментов. Верификация разработанной математической модели проведена путём сопоставления результатов расчётов и натурального эксперимента. Достоверность научных выводов и полученных результатов подтверждены в диссертации в достаточной мере.

5. Новизна полученных научных результатов

1. Предложен новый способ моделирования СНЭ, позволяющий рассчитывать переходные электромеханические процессы с учётом динамики энергообмена для различных типов подсистем накопления энергии.

2. Разработана математическая модель СНЭ совместимая с основными промышленными вычислительными комплексами, для расчёта переходных электромеханических процессов в энергосистемах с накопителями энергии.

3. Разработана методика выбора основных параметров СНЭ на основе анализа амплитудно-частотных характеристик графиков нагрузки для задач демпфирования колебаний мощности нагрузки заданной частоты.

4. Разработана методика выбора основных параметров СНЭ на основе анализа результатов расчета переходного процесса с заданным алгоритмом управления.

6. Практическая значимость работы

1. Разработан способ построения математической модели СНЭ и получен патент на изобретение РФ RU 2736701 C1.

2. Модель СНЭ реализована в ППК Matlab Simulink и DigSilent PowerFactory и позволяет проводить полноценные научные и научно-производственные исследования, расчёты режимов и переходных процессов в энергосистемах со СНЭ.

3. Наиболее актуально применение математической модели для разработки алгоритмов управления СНЭ и расчета её основных параметров в составе энергосистемы.

4. Внедрение результатов диссертационного исследования подтверждено двумя актами внедрения

7. Апробация работы

Основные положения и результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на научных семинарах кафедры автоматизированных электроэнергетических систем Новосибирского государственного технического университета (НГТУ), городской научно-практической конференции «Aspire to Science» в 2016 году в г. Новосибирске, на международной научно-технической конференции «Электроэнергетика глазами молодежи – 2017» в 2017 году в г. Самара, всероссийской научно-технической конференции «Электропитание-2018» в 2018 году в г. Новосибирске, четырнадцатой международной научно-технической конференцией "Актуальные проблемы электронного приборостроения" в 2018 году в г. Новосибирске.

8. Публикация материалов диссертационной работы

По теме диссертации опубликовано 28 печатных научных работ, в том числе 4 статьи в изданиях согласно перечню российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук (перечень 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.

9. Соответствие диссертации научной специальности и критериям Положения о присуждении учёных степеней

Анализ содержания диссертационной работы позволяет сделать заключение о его соответствии паспорту специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы. Диссертационная работа Пранкевича Глеба Александровича на тему: «Разработка математической модели и методики выбора параметров накопителя энергии

как элемента энергосистемы» как научно-квалификационная работа полностью отвечает требованиям 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней».

По п.9 Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой автором выполнено новое научно-обоснованное решение задачи разработки математической модели СНЭ и методик расчета ее основных параметров.

По п.10 диссертация написана автором самостоятельно в виде рукописи, содержит новые научные результаты и положения, заслуживающие публичной защиты. Содержание диссертации и опубликованные работы свидетельствуют о достаточном вкладе автора в науку. В диссертации имеются сведения о практической полезности выполненных исследований, подтвержденные актами внедрения и патентом.

По п.11–13 основные научные результаты достаточно полно отражены в 28 публикациях, в том числе в 4 изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Диссертация обладает внутренним единством, написана автором самостоятельно, содержит новые научные результаты и положения, представленные к защите. В диссертации имеются сведения о практической полезности результатов и научных выводов. Основные технические решения, научные результаты и выводы обстоятельно аргументированы и подтверждены результатами практического внедрения.

10. Замечания по диссертационной работе

По диссертации имеются следующие вопросы и замечания:

1. Название диссертации не полностью соответствует содержанию. Моделирование СНЭ это лишь один элемент из рассматриваемой энергосистемы.

2. Моделирование «электромеханических переходных процессов» и, соответственно результаты не являются строгими, поскольку модели элементов энергосистемы, за исключением синхронной машины строились по статическим характеристикам.

3. Автор предлагает рассчитывать номинальную энергоёмкость СНЭ без учёта технико-экономических аспектов решаемой задачи, исходя только из требуемой для выполнения заявленных функций величины энергообмена. Вопросы увязки номинальной энергоёмкости, величины энергообмена, рабочего диапазона уровней заряда и срока службы СНЭ затрагиваются поверхностно, без выхода на чёткие рекомендации. В диссертации эти вопросы только обозначены.

4. Мощность и энергоёмкость СНЭ выбираются автором исключительно по результатам мониторинга («по осциллограммам»), но при этом не предусматриваются коэффициенты запаса, которые в подобных случаях всегда должны быть учтены. В методиках расчета параметров СНЭ следует ввести коэффициенты запаса по мощности и энергоёмкости.

5. ПВК Matlab Simulink, на базе которого автор реализует свою математическую модель, ориентирована в основном на расчёты по мгновенным значениям переменных, тогда почему модель, предлагаемая в диссертации, ориентирована только на действующие значения переменных, а, следовательно, неприменима для расчётов электромагнитных переходных процессов?

6. Чем в математической модели обусловлена необходимость учёта постоянной саморазряда СНЭ, которая на актуальных для переходных процессов интервалах времени имеет для АКБ относительно очень малое значение?

Приведённые замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы, при этом замечания следует рассматривать как рекомендации автору в дальнейшей работе.

11. Заключение по диссертационной работе

Диссертационная работа Пранкевича Глеба Александровича является самостоятельной, законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены результаты исследований, имеющие существенное значение для

развития систем накопления электрической энергии, создания перспективных энергетических систем нового поколения. Работа отвечает требованиям пунктов 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. N 842 (ред. от 11.09.2021 г.), а её автор Пранкевич Глеб Александрович заслуживает присуждение учёной степени кандидата технических наук по специальности по специальности 05.14.02 — «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Отзыв подготовлен д.т.н., Лукутиным Борисом Владимировичем, профессором отделения Электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики ТПУ.

Отзыв рассмотрен и одобрен по результатам заслушивания и обсуждения доклада диссертанта на заседании Научно-технического совета отделения Электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики Томского политехнического университета, протокол № 8 от 29 марта 2022 года.

Председатель научно-технического совета
Инженерной школы энергетики,
отделения электроэнергетики и
электротехники
Инженерной школы энергетики
Национального исследовательского
Томского политехнического университета.

д.т.н., профессор
г. Томск, ул. Усова, 7, офис. 223,
т. +7 (3822) 701777 вн.т. 6863,
email: vyush@tpu.ru

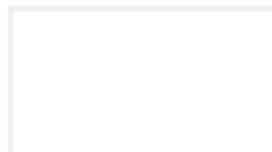


30.03.2022

Ушаков

Василий Яковлевич

Секретарь научно-технического совета
Инженерной школы энергетики
Национального исследовательского
Томского политехнического университета

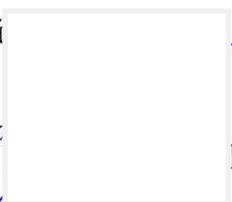


Филимонова

Светлана Владиславовна

Подписи Ушакова В.Я. и Филимоновой
С.В. заверяю

Ученый секретарь Ученого совета ТПУ



Кулинич
Екатерина Александровна

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский Томский
политехнический университет»

Почтовый адрес: 634050, г. Томск, проспект Ленина, дом 30

Официальный сайт: <https://www.tpu.ru>

Адрес электронной почты: tpu@tpu.ru

Тел.: +7 (3822) 60-63-33

Отзыв конучен 30.03.2022 г. Проф. Юсупов В.А.

С отзывом озмеакомлен 30.03.2022 г. Проф. Трандеев В.А.