

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук Новикова Николая Леонтьевича 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

Интенсивное развитие в последние десятилетия технологий накопления и хранения энергии в промышленных масштабах и их практическое применение открыли новый этап в развитии современной электроэнергетики. Многофункциональные, быстродействующие системы накопления энергии (СНЭ) позволяют принципиально по-новому решать многие сложные задачи по ведению режимов, управлению энергосистемами в переходных режимах, по противоаварийному управлению и автоматике, повышению надёжности и живучести энергосистем, повышению качества электроэнергии.

Практические работы по применению СНЭ, которые в настоящее время проводятся в РФ, направлены на повышение технико-экономических характеристик и надёжности автономных, локальных систем электроснабжения, с высокой степенью неравномерности графиков электропотребления или с резкопеременным характером нагрузки. Как правило, это автономные электростанции нефтегазодобывающих предприятий, или солнечно-дизельные электростанции, расположенные в удалённых регионах. Очевидно, что по мере освоения и отработки технологий СНЭ на объектах малой мощности и энергоёмкости, область применения накопителей будет распространяться на объекты ЕЭС.

Учитывая многофункциональность и высокое быстродействие систем накопления, можно предположить, что при широком внедрении в электроэнергетику и при условии достижения значений мощности и энергоёмкости систем накопления, актуальных для ЕЭС, многие задачи регулирования и управления, в том числе противоаварийного, могут решаться с помощью СНЭ.

Актуальность темы диссертации обусловлена необходимостью проведения широкого круга научно-исследовательских работ по различным аспектам применения многофункциональных СНЭ для решения разнообразных задач управления в энергосистемах. Разработанные в диссертации математическая модель и методики выбора параметров накопителя энергии как элемента энергосистемы дают эффективный инструмент для проведения подобных исследований.

2. Структура и объем 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.

3. Степень обоснованности и достоверности научных выводов, положений рекомендаций

Научные выводы, положения и рекомендации основываются на применении знаний теоретических основ электротехники, электрических машин, теории автоматического управления, силовой преобразовательной техники, переходных процессов в ЭЭС, теории мгновенной мощности, корректного применения методов математического моделирования, физического и натурального эксперимента.

Верификация разработанной математической модели проведена наиболее убедительным способом - путём сопоставления результатов расчётов и натурального эксперимента. Достоверность научных выводов и полученных результатов в достаточной мере подтверждены в диссертации.

4. 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.

5. Практическая значимость работы

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

2. Модель СНЭ реализована в ПК 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

6. 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.

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.

7. 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». В ней разработан способ построения математической модели СНЭ и получен на него патент на изобретение, разработана математическая модель СНЭ в ПК Matlab Simulink и DigSilent PowerFactory, разработаны методики расчёта параметров СНЭ. 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.

8. Замечания по диссертационной работе

По диссертации имеются следующие вопросы и замечания:

- 1. Не представлена модель системы управления по формированию управляющих воздействий по регулированию перетоков активной мощности.**
- 2. Изменение частоты на периоде 1 секунды говорит о сопоставимой мощности накопителя и генератора, не исследованы проблемы синхронизации, устойчивости при регулировании частоты или стабилизации напряжения.**
- 3. Не представлена реальная модель нагрузки и эффективность накопителя для сглаживания её существенных изменений, что достигается в ходе регулирования - уменьшение расхода топлива, улучшение динамики ДГУ и др.**
- 4. КПД заряд/разряд больше похож на суперконденсатор чем на электрохимический аккумулятор.**
- 5. Не рассмотрена структура системы с выбранными передаточными функциями, модель преобразователя накопителя с нелинейностями, ДГУ и др в составе замкнутой САР.**
- 6. В диссертации не ставятся и не решаются такие важнейшие задачи, как выбор оптимального диапазона уровней заряда и способа поддержания уровня заряда в условиях непрерывного энергообмена СНЭ с электроэнергетическим объектом. В математической модели предусмотрен блок «Ограничение минимального и максимального уровня заряда СНЭ», но как выбираются эти уровни и как поддерживается заданный уровень заряда в процессе функционирования СНЭ – на эти вопросы ответы не получены. А без них нельзя утверждать, что задача выбора параметров накопителя полностью решена. Пожалуй, это основной существенный недостаток диссертации.**
- 7. Предложенная автором математическая модель апробирована на трёх типах накопителей энергии – литий-ионных, суперконденсаторных и**

электромеханических. Применима ли методика для других типов накопителей? Например, сверхпроводниковых?

8. Возможно ли использовать разработанную математическую модель для расчетов гибридной СНЭ, в составе которой применяются накопители разной физической природы? Например – литий-ионные АКБ и суперконденсаторы?

9. В разделе 5.3 автор приводит процедуру расчета номинальной энергоёмкости для СНЭ на базе литий-ионных аккумуляторов. Неясно, отличаются ли алгоритмы расчета номинальной энергоёмкости для других типов накопителей (например, суперконденсаторов)?

10. Каким образом следует применять разработанную методику выбора параметров СНЭ при одновременном выполнении разных функций управления? Этот вопрос никак не освещается в диссертации, хотя автор постоянно подчёркивает многофункциональность СНЭ.

11. Автор никак не аргументирует необходимость учёта коэффициента саморазряда СНЭ. Этот коэффициент составляет 15-25% для суперконденсаторов и 1-5% для АКБ в месяц. 13. Для расчётов электромеханических переходных процессов, продолжительность которых оценивается не более, чем в секундах, это совершенно излишне.

12. В разделе 1.2 выполнен краткий обзор областей применения СНЭ. Но не сделан анализ их актуальности для современных энергосистем.

13. Математическая модель СНЭ может быть реализована на базе источника напряжения или источника тока в зависимости от выполняемых функций. Но при этом нигде не поясняется, для каких функций какой тип источника должен быть использован.

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

9. Заключение

Диссертационная работа Пранкевича Глеба Александровича является 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».

Официальный оппонент:

доктор технических наук, старший научный

сотрудник, Акционерное общество «Научно-технический центр Федеральной сетевой компании Единой

энергетической системы», заместитель научного руководителя.

e-mail: novikov_nl@ntc-power.ru

тел. +7(495) 7271909 (доб) 1248 моб+7 9104691763

Николай Леонтьевич Новиков

«21» марта 2022 г.

Подпись

Новикова Николая Леонтьевича

Отзыв получен 30.03.2022 г. Проф. Рогов А.А.
с отзывом ознакомлен 30.03.2022 г. Проф. Пранкевич