

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента доктора технических наук,  
Давидова Альберта Оганезовича  
на диссертационную работу  
Кучака Сергея Викторовича  
**«Система электроснабжения на базе электро-генераторной  
установки и литий-ионного накопителя с улучшенными  
динамическими характеристиками»**,  
представленную на соискание ученой  
степени кандидата технических наук  
по специальности 05.09.03 – Электротехнические  
комплексы и системы

### **1. Актуальность работы**

Вопросы обеспечения качественной электрической энергией удаленных объектов в настоящее время являются чрезвычайно актуальными, это связано с широким внедрением возобновляемых источников энергии, где энергоприход имеет нестабильный характер. Возможность бесперебойного питания потребителей электрической энергией в автономных системах электроснабжения обеспечивается применением аккумуляторных батарей, в том числе литий-ионной электрохимической системы. Большую роль для Российской Федерации играет задача обеспечения бесперебойным электроснабжением удаленных районов Арктики и Крайнего Севера.

В связи с этим, диссертационная работа Кучака Сергея Викторовича, посвященная повышению качества электрической энергии в системе электроснабжения (СЭС) на базе дизель-генераторной установки (ДГУ) с системой накопления энергии (СНЭ) является актуальной.

### **2. Структура и содержание диссертационной работы**

Диссертация Кучака Сергея Викторовича состоит из введения, пяти глав, заключения и трех приложений. Работа изложена на 138 страницах машинописного текста, список литературы содержит 75 наименований.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы научные положения, их новизна и практическая значимость.

В первой главе приведены результаты анализа принципов построения систем автономного электроснабжения, основными источниками питания в которых являются возобновляемые источники энергии. Отмечена необходимость применения в подобных системах аккумуляторных систем накопления энергии. Проведен обзор возможных режимов работы СНЭ в системе электроснабжения, представлен способ управления инвертором напряжения, основанный на преобразовании Парка-Горева и теории мгновенной мощности Акаги.

Предложена методика определения максимальной индуктивности буферного реактора и минимального значения напряжения в звене постоянного тока



инвертора напряжения, обеспечивающих генерацию мощности с заданной величиной полной мощности и соотношением активной и реактивной составляющих мощности.

Во второй главе на примере литий-железо-фосфатных аккумуляторов рассмотрены особенности функционирования электрохимических накопителей электрической энергии в различных режимах работы. Представлены результаты комплексного исследования параметров литий-железо-фосфатного аккумулятора большой емкости, получены зарядные и разрядные характеристики.

Выбрана схема замещения, для которой получены значения ее элементов. В среде PSIM сформирована имитационная модель, при помощи которой получены результаты, соответствующие экспериментальным данным.

В третьей главе рассмотрены основные соотношения, описывающие функционирование ДГУ. Представлены результаты исследования параметров переходного процесса при работе дизель-генераторной электрической станции средней мощности в условиях резко-переменной нагрузки. Выявлено, что длительность переходного процесса и величина перепада по частоте напряжения при набросе мощности больше соответствующего параметра при сбросе.

В результате анализа сформирована структура и схема имитационной модели в среде PSIM, которая позволила описать характер переходного процесса по частоте и амплитуде генерируемого напряжения.

В четвертой главе представлена имитационная модель системы электроснабжения в целом в среде PSIM. С помощью данной модели исследована работа системы электроснабжения в различных режимах работы СНЭ.

Сформированы структуры системы управления, позволяющие при неизменном профиле нагрузки снизить скорость изменения мощности на генераторной установке по экспоненциальному и линейному закону.

В пятой главе представлены результаты экспериментального исследования опытных образцов системы накопления энергии номинальной мощностью 100 кВА и 1200 кВА, предназначенные для совместной работы в различных режимах с дизель-генераторной и газо-поршневой установками (ГПУ).

Приведено сравнение результатов, полученных при сбросах и набросах 60 % от номинальной мощности дизель-генераторной установки в режиме работы без системы накопления энергии и при ее подключении. Полученные результаты подтверждают эффективность применения разработанных способов управления инвертором напряжения при работе ДГУ в условиях резко-переменной нагрузки.

Результаты сравнения работы газо-поршневой установки совместно с системой накопления энергии мощностью 1200 кВА показали, что при перепаде мощности нагрузки более 60 % от номинальной мощности ГПУ максимальный перепад частоты составил 1,5 Гц, что говорит о высокой эффективности предложенного способа управления.

В заключении представлены основные результаты исследований в диссертационной работе.



### **3. Научные результаты работы и их новизна**

К наиболее значимым научным результатам диссертационной работы соискателя можно отнести:

– полученная зависимость напряжения в звене постоянного тока трехфазного мостового инвертора от максимальной мощности и  $\cos\varphi$  нагрузки, кратности частоты коммутации силовых ключей и частотного коэффициента гармоник тока на частоте коммутации;

– полученные зависимости величин параметров схемы замещения литий-железо-фосфатного аккумулятора большой емкости в переходных процессах при набросе мощности;

– разработанные способы управления инвертором напряжения, позволяющие регулировать скорость изменения мощности на выходе источника питания при неизменном профиле нагрузки;

– разработанная компьютерная модель дизель-генераторной установки, отражающая работу реального объекта в режиме резко-переменной нагрузки.

### **4. Основные практические результаты работы**

Практическая ценность диссертационной работы состоит в том, что разработанные математические модели, компьютерная модель дизель-генераторной установки и способы управления инвертором напряжения использованы при составлении инструкции по эксплуатации литий-железо-фосфатных аккумуляторов ООО «Лиотех», а также проектировании аккумуляторных батарей и накопителей энергии номинальной мощностью 100 и 1200 кВА ООО «СНЭ».

### **5. Достоверность и обоснованность положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Достоверность научных положений, результатов и выводов работы подтверждается аргументированностью исходных данных, корректностью поставленных задач, обоснованностью принятых допущений, экспериментальным подтверждением основных теоретических выводов при достаточном для инженерной практики совпадении результатов теории, компьютерного моделирования и физического эксперимента.

При решении поставленных задач использованы методы математического и имитационного моделирования, методы управления сложными объектами с использованием ПИ-регуляторов и математического описания работы устройства, лабораторные и экспериментальные испытания разработанных технических решений. Имитационное моделирование проводилось в среде PSIM. Все научные положения аргументированы, полученные результаты исследований не противоречат известным научным положениям.



## 6. Апробация работы и публикации

Опубликованные автором работы соответствуют содержанию диссертации. По теме диссертации опубликовано 15 научных работ, в том числе 2 статьи, входящие в перечень ВАК, 9 работ в журналах и трудах научных конференций, индексируемых в международных базах Web of Science и/или Scopus, 2 патента РФ на изобретение. Результаты работы были представлены на 8 конференциях.

Автореферат диссертации Кучака С.В. соответствует диссертационной работе по цели, задачам исследования, основным положениям, актуальности, научной и практической значимости, новизне и достоверности.

Исследования, приведенные в диссертационной работе Кучака С.В. соответствуют формуле и областям исследования пп. 1, 3 и 4 в паспорте специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные положения, выдвигаемые для публичной защиты.

## 7. Замечания и дискуссионные положения

По содержанию диссертации имеются следующие вопросы и замечания:

1. При сравнении схем систем накопления энергии автор утверждает, что в некоторых случаях при соединении источника, аккумулятора и нагрузки последовательно можно повысить КПД системы в целом, в тоже время указывает, что к недостаткам данной схемы относятся потери электрической энергии вследствие двойного преобразования. Эти высказывания противоречат друг другу. Кроме того, к преимуществу параллельной схемы соединения также отнесено повышенное значение КПД.

2. Во втором пункте научной новизны указано, что параметры схемы замещения, описывающие процессы концентрационной поляризации  $\text{LiFePO}_4$  аккумуляторов определяют параметры переходных процессов, однако на стр. 51 диссертации при описании схемы замещения указано, что параметры активационной поляризации оказывают существенное влияние в процессах импульсного характера. Учитывая, что в схеме замещения автор описывает и активационную и концентрационную поляризации одинаковыми RC цепями, на мой взгляд произошла путаница, какая цепь описывает активационную поляризацию, а какая концентрационную.

3. Судя по результатам расчета и приведенным экспериментальным данным, импульсный разряд не дает возможность определить параметры схемы замещения, описывающие концентрационную поляризацию, но в тоже время достаточно точно определены параметры активационной поляризации. Было бы уместнее для определения параметров концентрационной поляризации использовать результаты, приведенные на рисунках 2.11 – 2.13.



4. В разделе 3.1 диссертации приводится подробное описание структуры ДГУ, механических процессов, приводятся уравнения для их расчета, однако в конце раздела автор делает вывод, что нет возможности определения данных для применения этих уравнений, поэтому необходимо моделировать ДГУ как электротехнический объект. Учитывая, что целью данной диссертации является улучшение качества электрической энергии, то принять решение о моделировании ДГУ как электроэнергетического объекта можно было и без изучения механических процессов в ДГУ.

5. В главе 4 диссертации при разработке модели СЭС (рисунок 4.1) автор представляет аккумуляторную батарею в упрощенном виде, как источник ЭДС и сопротивление, а в дальнейшем изучает динамические характеристики СЭС, хотя в главе 2 были очень подробно исследованы характеристики аккумуляторных батарей при переходных процессах и получены достоверные модели аккумуляторов.

6. В ходе испытаний, описанных в главе 5, автор указал, что необходимо было определить расходные характеристики ДГУ при резко-переменном режиме нагрузки СЭС без СНЭ и с применением СНЭ. Однако эти характеристики в диссертации не приведены. Судя по представленным исследованиям применение СНЭ в составе СЭС должно привести в том числе и к экономии топлива, было бы не плохо подтвердить это экспериментальными данными.

7. На рисунке 1.8 профиль нагрузки в пике достигает 200% относительно мощности нагрузки, при этом мощность ДГУ составляет 50%, а мощность СНЭ – 100%, каким образом компенсируется недостающая часть 50% мощности?

8. В работе присутствуют несоответствия обозначений в формулах и рисунках описанию в тексте, например, система уравнений (1.1), рисунки 2.12 и 2.16.

Указанные замечания не снижают в целом высокий научный уровень работы и значимость полученных результатов.

## **8. Общее заключение по диссертации**

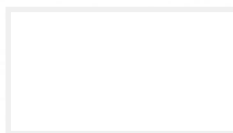
Диссертация Кучака С.В. является завершенной научно-исследовательской работой, содержащей новое научно обоснованное решение актуальной научно-технической задачи – повышения качества электрической энергии в автономных системах электроснабжения, имеющей существенное значение для развития страны.

По своей актуальности, научной новизне, объему выполненных исследований и практической значимости результатов диссертационная работа «Система электроснабжения на базе электро-генераторной установки и литий-ионного накопителя с улучшенными динамическими характеристиками» соответствует

требованиям пунктов 9-14 Положения ВАК о присуждении ученых степеней, а ее автор Кучак С.В. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

**Сведения об оппоненте:** Давидов Альберт Оганезович, доктор технических наук, старший научный сотрудник, начальник научно-конструкторского отдела ООО «Экспериментальная мастерская НаукаСофт», 129085, г. Москва, ул. Годовикова, 9, стр.1, тел.: (499) 255-36-35, [adavidov@naukasoft.ru](mailto:adavidov@naukasoft.ru).

Официальный оппонент

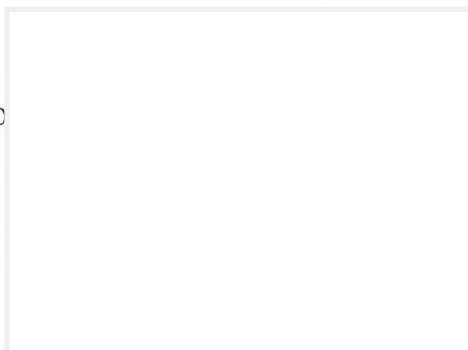


Давидов Альберт Оганезович

*01.04.2021г.*

Подпись Давидова А.О заверяю.

Помощник генерального директора



О.Ю.

*Отдел науки 06.04.2021  
М/ Давидов М.А/*

*С отпуском ознакомлен  
06.04.2021 г. (С.В. Кучак)*