

## **ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

на выпускную квалификационную работу обучающегося  
Санкт-Петербургского государственного университета  
Губайдуллина Булата Альбертовича

«Идентификация модели динамики воздушно-цинковых элементов питания»

Выпускная квалификационная работа Губайдуллина Булата Альбертовича посвящена исследованию методов идентификации динамики и скрытых параметров состояния воздушно-цинковых элементов питания.

Воздушно-цинковые элементы питания считаются перспективной технологией в классе систем накопления электроэнергии. Благодаря высокой удельной энергоемкости, широкой распространенности цинка в природе, его нетоксичности и низкой стоимости, технология воздушно-цинковых источников питания обладает высоким потенциалом и может найти успешное коммерческое применение в качестве аккумуляторных батарей для возобновляемых источников энергии или гибридных/электрических транспортных средств. В последнее время несмотря на активную разработку прототипов воздушно-цинковых элементов питания, присутствует достаточно малое количество работ, посвященных аспектам их математического моделирования и оптимизации.

Перед Губайдуллиным Б.А. стояла задача проанализировать доступные экспериментальные данные разряда батареи и построить на их основе динамическую модель, которая позволит оценивать состояние заряда и выходное напряжение в зависимости от нагрузки.

Для решения поставленной задачи Булат Альбертович провел анализ современной научной литературы по теме ВКР, изучил существующие подходы и методы, которые применяются для решения аналогичных задач и используются при проектировании систем управления источниками питания других типов. Одной из задач являлась проверка того способны ли современные методы машинного обучения превзойти классические методы идентификации динамических систем по качеству прогнозирования в новых условиях с учетом наличия сравнительно небольшого объема доступных тренировочных данных. В качестве подхода к моделированию Булат Альбертович выбрал представление воздушно-цинковой батареи эквивалентной электрической цепью, для которой идентифицировалась линейная стационарная модель (LTI) и линейная модель с коэффициентами, зависящими от параметров (LPV). Среди методов машинного обучения автором рассматривались бустинговые и регрессионные алгоритмы. В результате наилучшую точность показала модель LPV, с использованием которой и фильтра Калмана также оценивалось состояние заряда батареи в процессе разряда.

В работе достаточно четко определены цель и задачи исследования, сформулирована гипотеза, обоснованы теоретические основы исследования, раскрыты новизна, теоретическая и практическая значимость. Методологический уровень исследования, его стратегия и выбор теоретического аппарата заслуживают положительной оценки в целом и свидетельствуют об исследовательской культуре автора. ВКР написана доступным языком, достаточно хорошо технически оформлена и иллюстрирована. Структура работы характеризуется логичностью и обоснованностью. Булат Альбертович достиг запланированной в исследовании цели и добился позитивных результатов. ВКР является

законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно на достаточно высоком уровне.

Считаю, что выпускная работа Губайдуллина Б.А. полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к ВКР магистра, а ее автор заслуживает оценки «отлично».

Кандидат физ.-мат. наук, доцент кафедры  
теории систем управления  
электрофизической аппаратурой СПбГУ



А. Г. Головкина