

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет»  
(национальный исследовательский университет)  
Политехнический институт  
Факультет «Автотранспортный»  
Кафедра «Автомобильный транспорт»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент

к.т.н., доцент кафедры «Тракторы,  
сельскохозяйственные машины и  
земледелие» ИАИ ЮУрГАУ

\_\_\_\_\_ Н. А. Кузнецов

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой, д.т.н., профессор

\_\_\_\_\_ Ю. В. Рождественский

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА  
ГОНОЧНОГО БОЛИДА ПРИ РАБОТЕ В РЕЖИМЕ  
РЕКУПЕРАЦИИ С УЧЕТОМ РЕГЛАМЕНТА  
«ФОРМУЛА СТУДЕНТ»**

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

ЮУрГУ–13.04.02.2019.095.00ПЗ

Научный руководитель,  
доцент, к.т.н.

\_\_\_\_\_ К. В. Глемба

Автор работы

студент группы П-211

\_\_\_\_\_ Д. В. Грашина

Нормоконтроль, к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ Д. В. Астафьев

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

Челябинск, 2019

## АННОТАЦИЯ

Выпускная квалификационная работа выполнена Грашиной Д.В. на тему «Разработка и исследование электропривода гоночного болида при работе в режиме рекуперации с учетом регламента "Формула Студент"». Состоит из пояснительной записки 67 стр. машинописного текста, 25 ил., библиографического списка 14наим., 15 плакатов.

Целью работы является повышение эффективности эксплуатационных характеристик болида на трекке путем совершенствования системы рекуперации.

Настоящая работа посвящена проблемам малого запаса энергии АКБ в гонках на примере проекта FormulaStudentElectric. Представлены данные по загрязнению окружающей среды, согласно которым сделан упор на разработку машины с электродвигателем. Изучены технические требования к болидам класса FormulaStudentElectric.

Проанализированы различные решения по увеличению автономности транспортных средств, без увеличения объемов АКБ и выбран лучший вариант. Смоделирован расход энергии при прохождении трассы.

					<i>13.04.02.2019.034.00 ПЗ</i>	Лист
						3
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
1 АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ МАЛОГО ЗАПАСА ЭНЕРГИИ АКБ В ГОНКАХ НА ПРИМЕРЕ ПРОЕКТА FORMULA STUDENT ELECTRIC .....	8
1.1 Динамика развития направления электромобильного спорта.....	8
1.2 Особенности реализации проекта Formula Student.....	12
1.3 Понятие рекуперации энергии торможения.....	18
1.4 Анализ существующих решений по увеличению автономности транспортных средств без увеличения объемов АКБ.....	19
1.4.1 Работы Гулиа Н.В.....	19
1.4.2 Система фирмы Volvo.....	21
1.5 Выводы по первому разделу .....	23
2 ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОРМОЖЕНИЯ ТЯГОВОГО ПРИВОДА.....	24
2.1 Исследование способов электрического торможения тягового привода постоянного тока гибридного автомобиля .....	24
2.1.1 Методика расчета механических тормозных характеристик двигателей постоянного тока .....	28
2.1.2 Управление двигателем при генераторном торможении.....	32
2.2 Исследование способов электрического торможения тягового привода переменного тока гибридного автомобиля.....	32
2.2.1 Методика расчета механических тормозных характеристик двигателей переменного тока.....	34
2.3 Экономические аспекты проблемы запаса хода .....	39
2.4 Статические данные по запасу хода электромобилей.....	43
3. РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА СИСТЕМЫ РЕКУПЕРАЦИИ .....	49
3.1 Компьютерное моделирование электропривода электромобиля.....	49
3.2 Моделирование трассы.....	57
3.3 Выводы по третьему разделу .....	60

									Лист
									4
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата	13.04.02.2019.034.00 ПЗ				

4 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНИДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	61
4.1 Тормозная система.....	61
4.2 Ограничение по силе тока и напряжению .....	62
4.3 Формула оценки топливной эффективности.....	63
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	66
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	67
ПРИЛОЖЕНИЯ	
Приложение А Иллюстративный материал	
Приложение В Построение графиков в программе MathLab	

## ВВЕДЕНИЕ

В последнее десятилетие в связи с ростом производства электромобилей до 10 млн. единиц в год в мире резко обострились энергетические и экологические проблемы во многих промышленно развитых странах, особенно страдают от ухудшения этих параметров крупные промышленные города. В среднем до 70% загрязненной атмосферы в крупных городах, на основании многих исследований, приходится на долю автомобильного транспорта. В рамках международных программ ЕЭК ООН и директив ЕЭС разработаны программы с конечной целью обеспечения в начале XXI века выбросов со сверхнизкой и нулевой токсичностью (для автомобилей с ДВС и дизельным двигателем).

На заводах «УзДЭУ», и «СамКочАвто» выпуск автомобилей и около 40 наименований комплектующих к ним на более 10 заводах, доказал справедливость столь ответственного решения в период перехода к рыночной экономике в Узбекистане. Президент Республики Узбекистан И.А. Каримов в своем выступлении отметил, что «Наше независимое государство стремительно идет по пути прогресса. И одна из первых успехов рождение совершенно новой для нашей экономики отрасли - автомобилестроения. Автопромышленность становится одним из столпов экономики Узбекистана»[1, 2].

Следовательно, автомобиль является таким могучим источником повышенного загрязнения атмосферы, то необходимо разработать такой вид транспорта, который был бы не только экологически чистым, но и удовлетворял эксплуатационно-техническим параметрам, предъявляемым к автомобилю. Первый путь, по которому идут все автомобильные компании мира – это снижение в автомобилях токсичности и повышение экономичности, совершенствование конструкций двигателей, применение всевозможных каталитических нейтрализаторов, электронных систем управления и применение новых материалов. Данный путь ведет к усложнениям конструкции систем управления двигателем, что приводит к значительному удорожанию автомобиля.

									Лист
									6
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата	13.04.02.2019.034.00 ПЗ				

Второй путь – это поиск альтернативных источников энергии, наиболее перспективными из которых являются накопители электрической энергии, применение которых позволит создать экологически чистый наземный транспорт. Во многих странах создание экологически чистого транспорта ведется по инициативе и при финансовой поддержке государственных властей и различных ответственных организаций.

Таким транспортом должен стать электромобиль[3, 4].

Проблема электрического тягового привода автомобильного транспорта с ее автономной энергоустановкой и рекуперацией тормозной энергии потребует принципиально новых научно - технических решений и разработок.

Целью работы является повышение эффективности эксплуатационных характеристик болида на треке путем совершенствования системы рекуперации.

Предметом исследования является установление закономерности изменения расхода удельной мощности на единицу пройденного пути от коэффициента сложности прохождения трека.

Объектом исследования является процесс возвращения неиспользованной энергии движения болида в режиме торможения обратно в АКБ.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- а) изучение технических требований электробезопасности к болидам класса FormulaStudentElectric;
- б) анализ существующих решений по увеличению автономности без увеличения объемов АКБ;
- в) исследование работы системы рекуперации при прохождении трассы электроболида.

									Лист
									7
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата	13.04.02.2019.034.00 ПЗ				

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

					<i>13.04.02.2019.034.00 ПЗ</i>	Лист
						66
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. И.А. Каримов “Узбекистан на пороге 21 века“ угроза безопасности, условия стабильности и гарантии развития -Т :Уз 1999 г.
2. Автомобильный транспорт, № 8, 2002, 44-45тр.
3. Экспериментальные исследования бортовых источников энергии различной физической природы. Гурьянов Д.И., Дижур М.М., Прохоров В.А., Паршков Ю. В., Тауфик А.М. Сборник научных трудов. М. МАМИ 1994.
4. Эйдинов А.А., Дижур М.М. Новые направления развития источников тока для электромобилей. М., Автомобильная промышленность № 2, 1983
5. Автоспорт – <https://ru.wikipedia.org/wiki/Автоспорт/>.
6. Электромобиль Lola B12/69 EV установил новый мировой рекорд скорости – <https://hi-news.ru/auto/elektromobil-lola-b1269-ev-ustanovil-novyj-mirovoj-rekord-skorosti.html>.
7. ГОСТ Р ИСО 11228-1-2009 – <http://docs.cntd.ru/document/1200073037>.
8. Формула Студент, что это – <https://www.drive2.ru/b/288230376151890656/>.
9. Рекуперативное торможение – [https://ru.wikipedia.org/wiki/Рекуперативное\\_торможение](https://ru.wikipedia.org/wiki/Рекуперативное_торможение).
10. Способ рекуперации кинетической энергии и транспортное средство с рекуператором (варианты) – <https://findpatent.ru/patent/218/2184660.html>.
11. Volvосоединила систему рекуперации с маховиком – <https://motor.ru/news/volvokers-26-04-2013.htm>.
12. Экономические аспекты проблемы запаса хода – <http://www.electromachines.ru/content/ekonomicheskie-aspekty-problem>.
13. Статические данные по запасу хода электромобилей – <http://www.electromachines.ru/content/statisticheskie-dannye-po-zapa>.
14. Гончар А.С., Семиков А.В. К реализации рекуперативных режимов в электроприводе электромобиля с ионисторами // Зб. матер.конф. «Расчет



энергоэффективности использования тягового электропривода без и с рекуперацией для легкового автомобиля». – Кременчук, 2013. – с. 25–26.

					<i>13.04.02.2019.034.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						<i>68</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		