

УДК 629.113(075)  
ББК 39.33я73  
С12

Рецензенты:

*Агеев С. П.* — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры электроэнергетики и электротехники Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета;  
*Ожegov Н. М.* — доктор технических наук, профессор кафедры автомобилей, тракторов и технического сервиса Санкт-Петербургского государственного аграрного университета

**Сафиуллин, Р. Н.**

С12 Системы тягового электропривода транспортных средств : учебное пособие / Р. Н. Сафиуллин, В. А. Шаряков, В. В. Резниченко ; под ред. Р. Н. Сафиуллина. — Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2020. — 364 с.

ISBN 978-5-4499-1610-5

Книга представляет собой учебное издание, в котором с системотехнических позиций представлены конструктивные решения тяговых электроприводов транспортных средств, закономерности и особенности их функционирования. Приведены показатели эффективности работы электромобилей при применении современных химических источников тока. Изложены основные сведения о современных системах тягового электропривода электромобилей, взаимосвязанных с вопросами увеличения области эффективного использования электромобилей на основании снижения удельной стоимости батарей и повышения срока их службы. Целью учебного пособия является обобщения вопросов конструкции и диагностирования современных электронных, микропроцессорных систем тягового электропривода транспортных средств, с учетом систематизации основных понятий и описаний данных систем.

Учебное пособие написано в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования, предназначено для бакалавров и магистров. Книга может быть полезна инженерно-техническим работникам транспортных предприятий, а также специалистам сервисных служб и всем, кто связан с эксплуатацией транспортных средств.

УДК 629.113(075)  
ББК 39.33я73

ISBN 978-5-4499-1610-5

© Сафиуллин Р. Н., Шаряков В. А., Резниченко В. В., текст, 2020  
© Издательство «Директ-Медиа», оформление, 2020

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
Глава 1. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТРАНСПОРТА .....	21
1.1. Роль электротранспорта в экономике России.....	21
1.2. Перспективы развития электромобилей и их классификация .....	23
1.3. Требования, предъявляемые к электрическому оборудованию подвижных транспортных средств .....	37
1.4. Общие понятия, классификация систем тягового электропривода электрифицированных подвижных транспортных средств .....	38
Глава 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ.....	103
2.1. Требования к системам тягового электропривода гибридного электрического транспортного средства.....	103
2.2. Особенности проектирования систем тяговых электроприводов транспортных средств.....	115
2.3. Сравнительный анализ тяговых характеристик различных типов электродвигателей .....	117
2.3.1. Типы электрических тяговых двигателей .....	117
2.3.2. Асинхронный тяговый электропривод.....	118
2.4. Развитие систем тягового электропривода электромобилей .....	120
2.5. Анализ энергетических режимов тяговых систем электромобилей .....	122
2.6. Статическая и динамическая оптимизация систем тягового электропривода электромобилей .....	127
2.7. Эксплуатационные характеристики систем тягового электропривода электромобилей .....	132
Глава 3. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ ПИТАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ТЯГОВЫМИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ.....	134
3.1. Этапы развития полупроводниковых элементов .....	134

3.2. Основные полупроводниковые элементы, применяемые в тяговых преобразователях .....	135
3.3. Система управления электрифицированного подвижного транспортного средства .....	148
3.4. Общие сведения о микропроцессорных системах .....	154
3.5. Математическое описание механической части тяговых агрегатов.....	162
<b>Глава 4. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ТЯГОВОЙ БАТАРЕИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ .....</b>	<b>165</b>
4.1. Характеристики свинцово-кислотных и никель-кадмиевых батарей.....	166
4.2. Режимы заряда и разряда аккумуляторов .....	174
4.3. Конструкция тяговых аккумуляторных батарей .....	184
4.3.1. Конструктивное исполнение модулей.....	184
4.3.2. Цилиндрическое исполнение модуля .....	185
4.3.3. Производство призматических аккумуляторов.....	186
4.3.4. Электронное соединение модулей .....	187
4.4. Применение перспективных технологий в источниках тока .....	191
4.4.1. Процессы на положительном электроде Li-ion-аккумулятора .....	192
4.4.2. Отрицательные электроды. Углеродные материалы.....	193
4.4.3. Обратимые процессы на углеродных материалах.....	193
4.5. Сравнительные характеристики электрохимических систем литий-ионных батарей .....	195
4.6. Топливные элементы (ТЭ).....	197
4.6.1. Конструктивное исполнение ТЭ .....	197
4.6.2. Основные характеристики тяговых ТЭ .....	202
4.6.3. Перспективы использования ТЭ в электромобилях.....	205
4.7. Солнечные батареи.....	208
4.7.1. Принцип действия .....	208
4.7.2. Соединение солнечных ячеек.....	209
4.7.3. Электрические характеристики солнечной батареи: вольт-амперная характеристика .....	209

4.7.4. Особенности конструкции .....	210
4.7.5. Арсенид-галлиевые солнечные батареи .....	212
4.7.6. Многослойные арсенид-галлиевые элементы .....	213
4.7.7. Солнечные батареи из аморфного кремния .....	214
4.7.8. Особенности тонкопленочных солнечных батарей .....	217
4.7.9. Микроморфные солнечные модули .....	217
4.7.10. Микроморфная технология .....	219
4.8. Зарядные станции для электромобилей .....	221
4.8.1. Технологические аспекты зарядной инфраструктуры для электромобилей .....	221
4.8.2. Способы заряда электромобилей .....	222
4.8.3. Описание типов зарядки .....	226
<b>Глава 5. ТЕЛЕМАТИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ .....</b>	<b>236</b>
5.1. Датчики, сенсорные устройства .....	236
5.2. Датчики и аппаратура для сбора и обработки информации .....	288
5.3. Система обработки информации .....	304
<b>Глава 6. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ НА ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТЬ .....</b>	<b>307</b>
6.1. Критерий и показатели эффективности транспортных средств .....	307
6.2. Расчет производительности электромобилей .....	312
6.3. Методика определения себестоимости перевозок .....	321
6.4. Выбор и оптимизация конструктивных параметров по критерию минимума приведенных затрат .....	326
<b>Глава 7. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЛАСТИ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ .....</b>	<b>328</b>
7.1. Теоретические исследования области эффективного использования электромобилей .....	328
7.2. Системный анализ области эффективного использования аккумуляторных электромобилей .....	341
7.3. Влияние конструктивных параметров и технико- экономических показателей на эффективность электромобилей .....	344

Глава 8. УЧЕТ СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ .....	347
8.1. Анализ социально-экологических факторов и их влияния на развитие транспортных средств .....	347
8.2. Методические подходы к оценке ущерба, наносимого токсичными выбросами автомобильного транспорта .....	353
8.3. Оценка области эффективного использования электромобилей с учетом экологической составляющей .....	357
8.4. Перспективы развития электромобилей .....	358
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	361
Список литературы .....	362