

УДК621.316.174:629.4(075)  
ББК 39.217  
У49

**Рецензенты:**

**Суворов И. Ф.**, – доктор технических наук, профессор кафедры «Энергетика»  
Забайкальского государственного университета;

**Булатов Ю. Н.**, – кандидат технических наук, заведующий кафедрой  
«Электроэнергетика и электротехника» Братского государственного университета

**Улучшение** качества электроэнергии в системах электроснабжения  
У49 нетяговых потребителей железных дорог : монография /  
В. П. Закарюкин, А. В. Крюков, И. А. Любченко, А. В. Черепанов ;  
под ред. А. В. Крюкова. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. ; Берлин :  
Директ-Медиа, 2020. – 183 с.  
ISBN 978-5-4499-1580-1

Монография посвящена вопросам улучшения качества электроэнергии в системах электроснабжения объектов сигнализации, централизации и автоблокировки железных дорог переменного тока, рассматриваемым в четырех разделах.

В первом разделе проанализированы вопросы влияния тяговой сети на смежные линии и качество электроэнергии. Во втором разделе кратко описан использованный для моделирования СЭС программный комплекс Fazonord-APC, позволяющий производить расчеты режимов объединенной однофазно-трехфазной сети на основной частоте и частотах высших гармоник, генерируемых электровозами. В третьем разделе представлены результаты расчетов показателей качества электроэнергии в СЭС объектов СЦБ при учете воздействий тяговой нагрузки и влияния контактной сети в различных вариантах подключения нагрузок, а также при коротких замыканиях и в несинусоидальных режимах. Четвертый раздел содержит анализ возможностей улучшения качества электроэнергии в рассматриваемых СЭС путем применения симметрирующих трансформаторов, регулируемых источников реактивной мощности, активных кондиционеров гармоник и управляемых устройств, реализованных по схеме Штейнмеца.

Предназначена для научных и инженерно-технических работников, занимающихся вопросами проектирования и эксплуатации систем электроснабжения, а также для аспирантов и студентов электроэнергетических специальностей.

Исследования, результаты которых представлены в монографии, выполнены при финансовой поддержке по гранту государственного задания Минобрнауки России на тему «Повышение качества электрической энергии и электромагнитной безопасности в системах электроснабжения железных дорог, оснащенных устройствами Smart Grid, путем применения методов и средств математического моделирования на основе фазных координат».

*Текст приводится в авторской редакции.*

УДК 621.316.174:629.4(075)  
ББК 39.217

ISBN 978-5-4499-1580-1

© Закарюкин В. П., Крюков А. В., Любченко И. А., Черепанов А. В., текст, 2020  
© Издательство «Директ-Медиа», оформление, 2020

## Оглавление

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ .....	5
ВВЕДЕНИЕ .....	6
1. КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЛИНИЯХ ПИТАНИЯ СЦБ И ПРОДОЛЬНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ВЛИЯНИЯ ТЯГОВОЙ СЕТИ.....	13
1.1. Влияние наведенных напряжений на качество электроэнергии линий СЦБ и ПЭ.....	13
1.2. Эффекты влияния тяговой сети на трехфазные линии СЦБ и ПЭ напряжением 6-10 кВ .....	14
1.3. Эффекты влияния тяговой сети на линии ПР и ДПР .....	17
1.4. Качество электроэнергии потребителей, подключенных к линии ДПР .....	21
Выводы .....	23
2. МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ.....	24
2.1. Общие принципы моделирования.....	24
2.2. Программный комплекс имитационного моделирования.....	26
2.3. Сопоставление экспериментальных измерений и имитационного моделирования программным комплексом .....	34
Выводы .....	43
3. АНАЛИЗ СХЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УСТРОЙСТВ СЦБ .....	44
3.1. Схемы электроснабжения объектов СЦБ .....	44
3.2. Моделирование режимов типовых систем электроснабжения объектов СЦБ.....	50
3.2.1. Схемы питания объектов СЦБ .....	50
3.2.2. Описание расчетной схемы .....	52
3.2.3. Подключение нагрузок на фазные напряжения.....	55
3.2.4. Подключение нагрузок СЦБ на фазные напряжения при разных расстояниях от питающей подстанции.....	59
3.2.5. Подключение нагрузок на фазные напряжения. Однофазные замыкания на землю в линии, подключенной к районной обмотке тягового трансформатора.....	60
3.2.6. Влияние транспозиции ЛЭП при подключении нагрузок.....	63
на фазные напряжения .....	63
3.2.7. Влияние нагрузок СЦБ, подключенных на фазные напряжения.....	65
3.2.8. Влияние тяговой нагрузки на показатели качества электроэнергии на шинах 0,4 кВ СЦБ при подключении нагрузок СЦБ на фазные напряжения .....	67
3.2.9. Влияние характера нагрузок СЦБ, подключенных на фазные напряжения.....	68
3.2.10. Подключение нагрузок СЦБ на линейные напряжения .....	70
3.2.11. Имитационное моделирование движения поездов.....	73
3.2.12. Моделирование несинусоидальных режимов.....	81
3.3. Моделирование режимов систем электроснабжения объектов СЦБ, расположенных на реальном участке ЖД .....	84
3.3.1. Характеристика системы электроснабжения железной дороги.....	84
3.3.2. Модели элементов системы электроснабжения .....	86
3.3.3. Описание расчетной схемы ПК Fazonord .....	87
3.3.4. Описание имитационной модели.....	89
3.3.5. Показатели качества электроэнергии в линиях ДПР и СЦБ при встречно- консольном питании МПЗ.....	91
3.3.6. Показатели качества электроэнергии в линиях ДПР и СЦБ при консольном питании линий .....	96
3.3.7. Показатели качества электроэнергии в линиях ДПР и СЦБ при консольном питании линий и тяговой сети .....	101

3.4. Моделирование режимов специализированных систем электроснабжения .....	106
3.4.1. Тяговые сети с отсасывающими трансформаторами .....	106
3.4.2. Применение ЛЭП с заземленной фазой .....	113
Выводы .....	115
4. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ СЦБ .....	121
4.1. Симметрирующие трансформаторы .....	121
4.2. Регулируемые источники реактивной мощности .....	122
4.3. Активные кондиционеры гармоник .....	127
4.4. Управляемые симметрирующие устройства по схеме Штейнмеца .....	136
4.5. Анализ возможностей применения схемы Штейнмеца и АКГ для нормализации показателей качества при консольном питании линий ДПР и СЦБ на реальной схеме электроснабжения участка железной дороги .....	149
4.6. Резервное электроснабжение объектов железнодорожного транспорта на базе устройств по схеме Штейнмеца .....	156
Выводы .....	165
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	167