Федеральное агентство железнодорожного транспорта Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

Омский государственный университет путей сообщения

(ОмГУПС (ОмИИТ))

На правах рукописи

ШАТОХИН Андрей Петрович

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Специальность 05.22.07 – «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация»

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

ОМСК 2017

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор В.Т. Черемисин

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 4

1. КОНЦЕПЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ

МОНИТОРИНГА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

ЭНЕРГИИ РЕКУПЕРАЦИИ 10

1.1 Состояние вопроса 11

1.2 Систематизация существующих методов определения удельной

рекуперации на участке работы локомотивных бригад 17

1.3 Обоснование необходимости применения синхронных измерений тока, напряжения и приращения расхода электроэнергии на электроподвижном составе и фидерах контактной сети………………………………………………… 30

1.4 Разработка требований к системе мониторинга эффективности применения и использования энергии рекуперации………………………………. 35

1.5 Выводы по главе…………………………………………………………... 39

2. РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ

ПРИМЕНЕНИЯ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ, СНИЖЕНИЯ

РАСХОДА И ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ТЯГОВОЙ СЕТИ …………… 40

2.1 Общие принципы оценки эффективности применения рекуперативного

торможения поездом в границах зоны мониторинга……………………………. 41

2.2 Порядок формирования базы данных по выполненой работе

локомотивных бригад для обеспечения эффективности применения энергии

рекуперации…………………………………………………………………………. 47

2.2.1 Анализ состояния работоспособности системы рекуперативного торможения……………………………………………………………………………. 47

2.2.2 Анализ состояния системы тягового электроснабжения в границах зоны мониторинга…………………………………………………………. 49

2.2.3 Анализ графика движения и применения машинистом энергосберегающих приемов вождения…………………………………………….. 56

2.2.4 Формирование итоговой отчетной формы по результатам совершенных поездок………………………………………………………………… 61

2.3 Нормирование и планирование энергии рекуперации на участке

следования локомотивной бригады по результатам поездок…………………… 64

2.4 Выводы по главе…………………………………………………………… 67

3. МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ И ПОСЛЕДУЮЩЕГО

ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ РЕКУПЕРАЦИИ ………………………………… 68

3.1Способ способ повышения эффективности применения

рекуперативного торможения, снижения расхода и потерь электроэнергии на тягу……………………………………………………………………………………. 68

3.2 Применение накопителей электрической энергии в системе тягового

электроснабжения и на подвижном составе……………………………………….. 78

3.3 Разработка имитационной модели для оценки эффективности

применения емкостного накопителя энергии на железнодорожном транспорте ... 85

3.4 Выводы по главе…………………………………………………………… 101

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОЦЕНКЕ

ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И

ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ РЕКУПЕРАЦИИ 102

4.1Характеристика испытательного полигона и условия проведения

эксперимента 102

4.2 Экспериментальные исследования по оценке применения и

использования энергии рекуперации 108

4.3 Оценка влияния устройств автоматического регулирования на

эффективность применения и использования энергии рекуперации……………… 121

4.4Выводы по главе……………………………………………… 136

5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ И МЕТОДОВ ЕГО ПОВЫШЕНИЯ ……………………………... 138

5.1 Технико-экономическое обоснование внедрения системы мониторинга

эффективности применения рекуперативного торможения………………………. 138

5.2 Технико-экономические расчеты по сокращению эксплуатационных

расходов перевозочного процесса за счет оптимизации графика движения

поездов…………………………………………………………………………………. 145

5.3 Технико-экономические расчеты параметров и мест установки

накопителей электрической энергии в целях повышения эффективности

применения и использования энергии рекуперации……………………………….. 149

5.4 Выводы по главе………………………………………………………….. 155

ЗАКЛЮЧЕНИЕ………………………………………………………………… 157

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ……………………………………………… 159

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Патенты на полезные модели и изобретения ………………… 176 ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Акты внедрений ………………………………………………… 181

Заключение

ВдиссертационнойработерешенанаучнотехническаязадачапоразработкеметодовисредствснижениярасходаипотерьэлектроэнергиинатягупоездовзасчетповышенияэффективностиприменениярекуперативноготорможенияпутемсовершенствованиярежимовработысистемытяговогоэлектроснабженияитехнологииэксплуатацииэлектроподвижногосоставаВсоответствииспоставленнымицельюизадачамиисследованиявдиссертационнойработеполученыследующиенаучныеипрактическиерезультаты

 Разработаныклассификацияметодовоценкиэффективностиприменениярекуперативноготорможенияикомплексосновныхтребованийкопределениюэффективностиприменениярекуперативноготорможенияпозволяющийобеспечитьтехническуювозможностьдостоверногоопределенияобъемоврекуперативноготорможениянаучасткеследованиялокомотивнойбригадывыявленияпричинегоснижениянапроизвольномучасткежелезнойдорогивплотьдомежподстанционнойзоны

 Разработаны метод определения эффективности применениярекуперативноготорможенияснижениярасходаипотерьэлектроэнергиивтяговойсетипозволяющийпроводитьанализвграницахпроизвольнойзоныучетаучитывающийпараметрыирежимыработысистемытяговогоэлектроснабженияпоезднуюситуациюприрекуперативномторможенииисправностьсхемырекуперативноготорможенияиприменениемашинистомэнергосберегающихприемоввожденияатакжезапатентованоустройствоконтролярежимовработытяговойподстанции

 Разработанизапатентованспособповышенияэффективности

применениярекуперативноготорможенияснижениярасходаипотерь

электроэнергиинатягупозволяющийпроизводитькорректировкунормативного

графикадвиженияпоездовотносительноординатымаксимальнойрекуперации

 Предложенаимитационнаямодельсистемымониторингаэффективности

применениярекуперативноготорможенияпозволяющаяосуществлятьконтроль

снижениярасходаипотерьэлектроэнергиинатягупоездовврежиме

рекуперативноготорможенияприустановкенакопителейэлектрическойэнергии

всистеметяговогоэлектроснабженияинаэлектроподвижномсоставе





 Разработаныизапатентованысхемныерешенияпоприменению

емкостных накопителей электрической энергии в системе тягового

электроснабженияпозволяющиеповыситьэффективностьприменения

рекуперативноготорможенияиснизитьрасходипотериэлектроэнергиина

участкеследованиялокомотивнойбригады

 Выполненыэкспериментальныеисследованияпоопределению

эффективностиприменениярекуперативноготорможениясучетомпараметрови

режимовработысистемытяговогоэлектроснабженияпостоянноготокавплотьдо

межподстанционныхзон на действующем участке железной дороги

подтверждающиетехническуювозможностьреализацииразработанногометода

определенияэффективностиприменениярекуперативноготорможенияснижения

расходаипотерьэлектроэнергиинатягупоездов

 Рассчитантехникоэкономическийэффектпривнедрениисистемы

мониторингаэффективностиприменениярекуперативноготорможенияна

экспериментальномполигонеСвердловскойжелезнойдорогеПодволошная–

Шалякорректировкисуточногонормативногографикаиустановкинакопителей

электрическойэнергии

Вкачестверекомендацийиперспективдальнейшейразработкитемыдиссертациипредусматриваетсяразработкаавтоматизированнойсистемымониторингаэффективностиперевозочногопроцессасвнедрениемвработунакопителейэлектрическойэнергиинаэлектроподвижномсоставеивсистеметяговогоэлектроснабжения