

*На правах рукописи*



**Яковлев Валерий Анатольевич**

**СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
ТЯГОВЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ  
ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ СЦЕПНЫХ  
СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОВОЗА  
ПОСТОЯННОГО ТОКА**

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

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**Москва – 2013**

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский государственный университет путей сообщения»

**Научный руководитель** — доктор технических наук, профессор  
Самме Георгий Вольдемарович  
МГУПС (МИИТ)

**Официальные оппоненты** — доктор технических наук, профессор  
Савоськин Анатолий Николаевич  
МГУПС (МИИТ);  
кандидат технических наук, старший  
научный сотрудник, заместитель  
Генерального директора  
Научно-исследовательского и  
конструкторско-технологического  
института подвижного состава  
Бабков Юрий Валерьевич (ВНИКТИ)

**Ведущее предприятие** — Петербургский государственный университет  
путей сообщения (ПГУПС)

Защита состоится 27 июня 2013 г. в 13.00 часов на заседании диссертационного совета (Д 218.005.01) при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский государственный университет путей сообщения» по адресу: 127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9, в ауд. 2505.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан 24 мая 2013 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 218.005.01,  
доктор технических наук, доцент



А.В. Саврухин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** В Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 г., утвержденной Правительством Российской Федерации в 2008 г., предусмотрено повышение массы грузовых поездов и скорости их движения.

Проблема повышения массы поезда требует комплексного решения широкого круга задач, среди которых первостепенное значение имеет усиление тяговых средств.

Критическая норма массы грузовых поездов, как правило, определяется сцеплением колес локомотива с рельсами.

Для реализации, принятой Стратегии развития железнодорожного транспорта, на Южно-Уральской железной дороге увеличили массу поезда с 5200 т до 6000 т на трех участках движения. На этих участках у электровозов ВЛ10 при работе с массами поездов 5200 т на одинарной тяге имели место растяжки поездов и вынужденная работа электровозов на низких ходовых позициях. Потери объема перевозок в этих условиях были на уровне 8,5%. Количество растяжек у электровозов ВЛ10 за период 2000 – 2008 гг. на ЮУЖД в среднем было 12.

В справке заместителя начальника дороги А.О. Абрамова на оперативный приказ № 989 Дирекции тяги отмечено, что «по итогам работы за 2009 и первое полугодие 2010 г. на участках Челябинск – Кропачёво, Челябинск – Карталы и Челябинск – Курган с использованием электровозов серии ВЛ10 было допущено вынужденных остановок на перегонах и станциях 320 случаев. В том числе по боксованию 64 случая».

На основании изложенного следует, что задачи проблемы сцепления требуют безотлагательного решения, поэтому тема диссертации актуальна.

В работах Г.В. Самме доказана реальная возможность совершенствования электровозов ВЛ10 путем оснащения их устройствами повышения потенциального коэффициента сцепления (УПС). Потенциальный коэффициент сцепления – это максимальное значение первого максимума коэффициента в характеристике сцепления до начала боксования. Электровозы с УПС способны обеспечить реализуемый

коэффициент сцепления на уровне 0,29, что позволит отказаться от толкачей и не требовать безостановочного пропуска поездов по станциям перед подъемами со скоростью не менее 40, 60, 70 км/ч.

Так как применение УПС связано с дополнительным расходом электроэнергии на тягу поездов, потребовалось разработать автоматизированные системы повышения сцепления (АСПС), применение которых было бы эффективным и без дополнительных расходов электроэнергии на тягу поездов.

В качестве **объекта исследования** рассматривается колесно-моторный блок электровоза постоянного тока.

**Предметом исследования** является фрикционное взаимодействие колес локомотива с рельсами.

**Целью исследования** настоящей диссертационной работы является изучения процессов боксования, определение требований к созданию автоматизированных систем повышения сцепления (АСПС), разработка вариантов АСПС для электровозов постоянного тока.

В соответствии с поставленной целью в диссертации решены следующие задачи:

- выполнено исследование процессов боксований колесно-моторных блоков электровоза с различными системами управления,
- определены значения параметров элементов системы на основании анализа поведения колесно-моторных блоков при боксовании,
- разработаны АСПС для электровозов постоянного тока,
- проведены эксплуатационные испытания электровоза ВЛ10, оборудованного АСПС.

**Методы исследований.** Выбор методов исследований выполнен исходя из новых результатов теории сцепления. Так как сложность проблемы сцепления заключается в том, что сцепление колес с рельсами зависит от множества факторов и эксплуатационных условий локомотива, исследование поведения колесно-моторных блоков при боксовании базировалось в основном на материалах регистрации процессов боксования при испытании электровозов ВЛ10 с различными значениями жесткости тяговых характеристик двигателей боксующих колесных пар. Используя материалы регистрации про-

цессов боксования, по зафиксированным временным зависимостям тягового усилия  $F_M(t)$  и скорости скольжения  $u(t)$ , строились зависимости силы сцепления от скорости скольжения  $F_{сц}(u)$ . Для расчета указанных зависимостей были использованы соотношения, полученные Д.К. Миновым. При анализе установленных зависимостей, описывающих процессы боксования, используя критерий устойчивости и данные расчета поверхностных температур во фрикционном контакте колесо-рельс, были определены допустимые режимы устойчивых процессов боксования.

**Научная новизна.** В результате выполненных исследований:

- определены условия устойчивости колесно-моторного блока в равновесных точках характеристик;
- установлена связь между устойчивым режимом боксования и жесткостью тяговой характеристики двигателя боксующей колесной пары;
- установлено, что при скорости скольжения до 23 км/ч и ограниченном времени боксования, после прекращения боксования действиями машиниста или системы микропроцессорного управления, потенциальный коэффициент сцепления принимает большие значения по сравнению со значением до боксования;
- установлено, что с помощью управления процессом боксования можно обеспечить повышение значений потенциального коэффициента сцепления, а тем самым, и реализуемого коэффициента сцепления.

**Основные положения, выносимые на защиту.**

1. установленная связь между устойчивым режимом боксования и жесткостью тяговой характеристики двигателя боксующей колесной парой;
2. установленная возможность увеличения значения потенциального коэффициента сцепления за счет управляемых процессов боксования;
3. способы и средства повышения значения потенциального коэффициента сцепления.

**Достоверность результатов исследований.**

На основании результатов исследований разработаны автоматизированные системы повышения сцепления (АСПС). Натурными испытаниями и опытом эксплуатации в течение шести лет электровозов ВЛ10 с АСПС установлены следующие показатели исполь-

зования АСПС: реализуемый коэффициент сцепления равен 0,29, участковая скорость на уровне 50 км/ч (на 20% больше расчетной на участках Челябинск-Кропачево и Челябинск – Карталы). Электро-воз ВЛ10 с АСПС способен реализовать пуск на подъеме с максимальными массами поезда.

**Практическая ценность результатов работы.** Применение разработанных автоматизированных систем повышения сцепления (АСПС) позволит увеличить провозную способность дороги на 15–18%, снизить расход песка и износ бандажей в несколько раз. По данным выполненного расчета экономической эффективности применения АСПС на электровозах ВЛ10 ЮУЖД будет иметь годовой экономический эффект в размере 1 млрд 600 млн руб.

**Апробация работы.** Результаты испытаний электровозов ВЛ10 оборудованных АСПС рассмотрены и одобрены:

- на совещании заместителя начальника департамента локомотивного хозяйства Д.Л. Киржнера 12 декабря 2005 г. Протокол № ЦТ – 17;

- на совещании у Вице-президента ОАО «РЖД» В.А. Гапановича 3 мая 2006 г. Протокол № ВГ – 117 пр.;

- на совещании у начальника Дирекции тяги ОАО «РЖД» Ю.А. Машталера 16 февраля 2010 г. Протокол № ЦТ -5/16;

- на совещании у Вице-президента ОАО «РЖД» А.В. Воротилкина 21 января 2011 г. Протокол № АВ – 92 пр.

**Публикации.** По результатам исследований и материалам разработки АСПС опубликовано 6 печатных работ из них 3 в изданиях, рекомендованных ВАК, получено два патента.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, списка литературы из 41 наименования, заключения и приложений. Работа содержит 121 страницу, в том числе 94 страницы машинописного текста, 2 таблицы, 38 рисунков, 4 страницы списка литературы, 11 страниц приложений.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** выполнен краткий анализ использования тягового подвижного состава на Южно-уральской железной дороге (ЮУЖД), рассмотрено состояние исследований в области проблемы сцепле-

ния, определены цели и задачи исследования, задачи по разработке автоматизированных систем повышения сцепления (АСПС). В области теории и практики исследования сцепных свойств локомотива, следует отметить работы выполненные Д.К. Миновым, И.П. Исаевым, Н.Н. Меншутиным, А.Л. Лисицыным, Л.А. Мугинштейном, В.Д. Тулуповым, А.В. Бычковским, М.Р. Барским, И.Н. Сердиновой, А.Н. Савоськиным, Г.В. Самме, А.Л. Голубенко, Ю.М. Лужновым, Ю.В. Бабковым, О.А. Некрасовым и рядом других авторов.

**В первой главе** рассмотрены с критическими оценками работы по созданию способов, устройств и систем использования сцепления электровозом. Проведен анализ процессов боксования при различных системах управления.

На базе характеристик сцепления, представленных на рис. 1, разрабатывались специалистами ВНИИЖТ, ВЭЛНИИ, транспортных вузов противобоксовочные устройства, так называемые противобоксовочные защиты (ПБЗ). Электрическая схема одного из первых вариантов ПБЗ представлена на рис. 2.

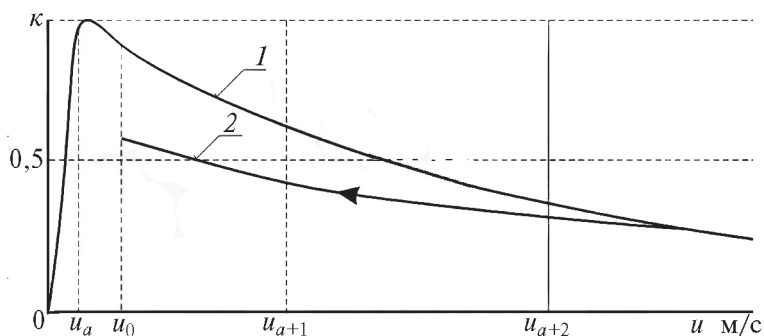


Рис. 1. Характеристики сцепления

где  $K = \frac{\Psi}{\Psi_0}$ ,

$\Psi$  – коэффициент сцепления,

$\Psi_0$  – максимальный коэффициент сцепления.

ПБЗ первых вариантов не решили поставленную задачу, поэтому стали применять независимое возбуждение ТЭД электровоза (НВ),

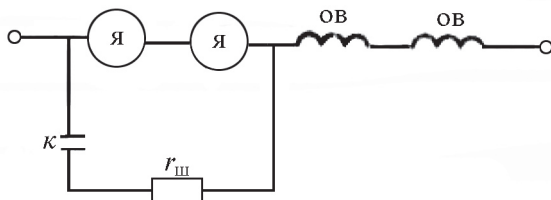


Рис. 2. Электрическая схема противобоксовочной защиты с использованием цепи шунтирования обмотки якоря ТЭД

смешанное возбуждение ТЭД (СВ), спаривание осей. Целью всех перечисленных систем было не допускать боксования с помощью жестких тяговых характеристик двигателя с боксующей колесной парой. Значение жесткости тяговой характеристики было на уровне 6 кН/(км/ч). Схемные решения НВ и СВ приведены на рис. 3.

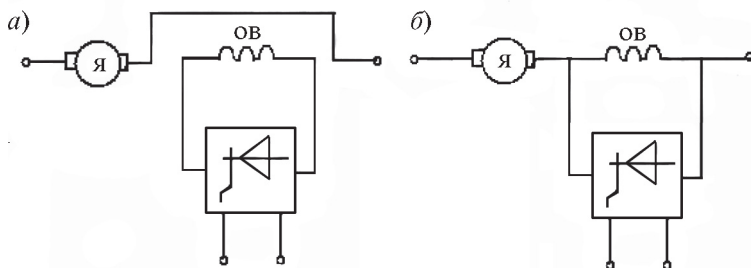


Рис. 3. Способы питания обмоток возбуждения: а – независимое возбуждение; б – смешанное возбуждение

Реализация решения, которое исключало глубокие процессы боксования с помощью жестких тяговых характеристик боксующих колесно-моторных блоков, была выполнена Научно-техническим комплексом (НТК) под руководством А. Е. Пырова. Данная задача решена с применением системы смешанного возбуждения тяговых электродвигателей (СВ).

Во время испытания электровоза ВЛ10К 1543 со смешанной системой возбуждения была попытка реализовать коэффициент сцепления значительно выше 0,22. Пять неудачных попыток зафиксированы на осциллограмме, представленной на рис. 4.



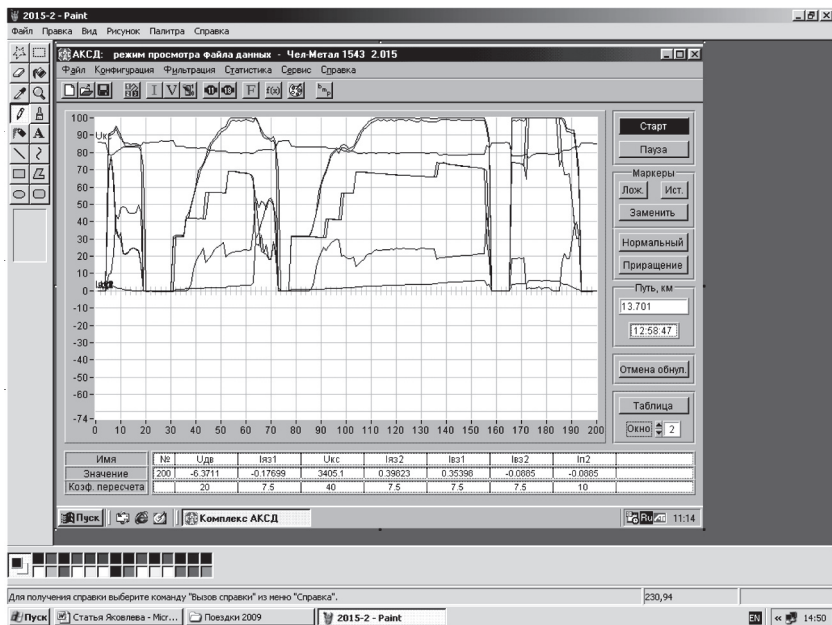


Рис. 4. Регистрация пуска электровоза, оборудованного смешанной системой возбуждения

У электровоза, оборудованного смешанной системой возбуждения, при наборе позиции возникает процесс боксования, который стабилизируется в равновесной точке, так как в соответствии с критерием устойчивости в этой точке режим будет устойчивым. Скорость скольжения будет не большой, но и коэффициент сцепления не выше 0,22.

В Америке и Европе отказались от применения ПБЗ и используют жесткие тяговые характеристики двигателей боксующих колесных пар для реализации повышенных значений коэффициента сцепления с помощью режимов работы колесно-моторных блоков с постоянным скольжением. Способы реализации данных решений описаны в патентах № 2124445, №2105679.

Данное техническое решение обеспечивает реализацию повышенных значений коэффициентов сцепления, но работает длительно с повышенными значениями скорости скольжения, будет интенсивный режим нагруженности электровоза по сцеплению.

В результате теоретических исследований, экспериментов на лабораторных установках и по материалам натурных испытаний Г.В. Самме были установлены характеристики сцепления принципиально нового вида, которые показаны на рис. 5. Эти характеристики были подтверждены результатами натурных испытаний электровозов, оборудованных устройствами повышения сцепления (УПС), на трех железных дорогах.

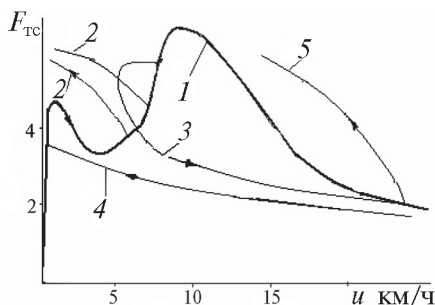


Рис. 5. Характеристики сцепления электровоза постоянного тока, полученные Г.В. Самме

Основное отличие новой характеристики сцепления от принятой (см. рис. 1) заключается в том, что имеется второй максимум, при котором коэффициент сцепления достигает значений  $0,29 - 0,3$ . При этом скорость скольжения составляет  $8 - 10$  км/ч. Установлено, что имеются две зоны с минимальными коэффициентами сцепления.

Второй максимум в характеристике сцепления, как уже было описано, используют в способе повышения реализуемого коэффициента сцепления.

Представленные виды характеристик сцепления полностью определяются условиями возникновения и развития процессов боксования, а именно, жесткостью тяговой характеристики двигателя боксующей колесной пары, режимом устойчивости системы в равновесных точках, состоянием поверхностей бандажа и рельс, применением песка и т.д.

На рис. 5 приведены характерные виды характеристик:

1 — характеристика сцепления, полученная при наборе позиций с жесткими тяговыми характеристиками двигателя боксующей ко-

лесной пары (базовая характеристика), при условии, что в равновесных точках режим будет устойчивый;

2 – возвратные характеристики из равновесной точки при пробоксовках, которые обеспечиваются оптимальной жесткостью тяговой характеристики двигателя боксующей колесной пары;

3 – характеристика сцепления при развитии боксования с переходом в устойчивый процесс боксования при ограниченной скорости скольжения за счет оптимальной жесткости тяговой характеристики двигателя боксующей колесной пары;

4 – возвратная характеристика после глубоких процессов боксования при мягких тяговых характеристиках двигателя боксующей колесной пары;

5 – возвратная характеристика после ограниченных по скорости скольжения процессов боксования.

На базе установленных характеристик разработан способ повышения потенциального коэффициента.

В способе используют процессы боксования с ограниченной скоростью скольжения и временем боксования. Как установлено по данным обработки процессов боксования, за счет пробоксовок и устойчивых процессов боксования с ограниченной скоростью скольжения увеличивается потенциальный коэффициент сцепления, а соответственно и реализуемый коэффициент сцепления.

Для реализации способа были разработаны устройства повышения сцепления (УПС). УПС предназначалось для обеспечения работы электровоза в экономном режиме нагруженности по сцеплению с повышенными значениями реализуемого коэффициента сцепления при проходе подъема, при пуске на станции без осаживания состава, при пуске на подъеме. Во время использования УПС попарно шунтировались все двигатели, что было связано с дополнительным расходом электроэнергии на тягу поезда.

Фрагмент силовой схемы электровоза с УПС представлен на рис. 6.

Устройство разработано на ручном управлении и включается для прохода подъема или для пуска на подъеме после вынужденной остановки на подъеме. При переходе на «П» соединение ТЭД или при сбросе на нулевую позицию схема УПС отключается. В УПС нет датчиков боксования, сопротивление резисторов подбирается такой величины, чтобы жесткость тяговой характеристики двигателя боксующей колесной пары имела значение равное 2–3 кН/(км/ч).

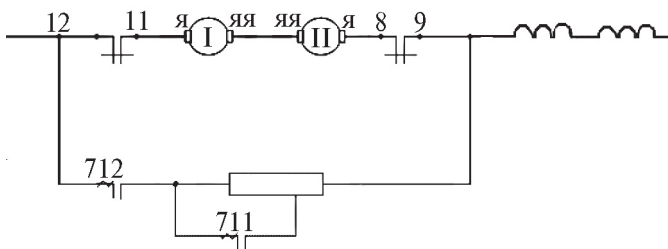


Рис. 6. Силовая схема УПС

Эффективность УПС определялась путем сравнения режимов пуска и работы на «С» и «СП» соединениях тяговых двигателей электровозов ВЛ10 с УПС и без УПС.

Установлено, что электровоз без УПС на 8‰ подъеме способен реализовать пуск и уход с подъема при массе поезда не более 4300 т. Обработкой регистрации поездки электровоза на 8‰ подъеме с массой поезда 4300 т установлены следующие данные: реализуемым коэффициентом сцепления равен 0,228; на участке протяженностью 490 м суммарное проскальзывание было равно 545 м. По оценки нагруженности работы электровоза режим был недопустимый.

Электровоз с УПС при массе поезда 5600 т обеспечивает пуск и уход с подъема на ходовой позиции при полном и ослабленном возбуждении. Обработкой регистрации данной поездки установлены следующие данные: на 8‰ подъеме электровоз с поездом массы 5600 т работал с реализуемым коэффициентом 0,292; на участке протяженностью 490 м суммарное проскальзывание было равно 15 м. По оценки нагруженности работы электровоза режим был экономный.

Так как, при применении УПС, был дополнительный расход электроэнергии на тягу поездов, необходимо было выполнить разработку автоматизированной системы повышения потенциального коэффициента сцепления (АСПС). Система должна обеспечить эффективное использование сцепления при экономии электроэнергии на тягу поездов.

Для достижения поставленной цели в работе решены следующие задачи:

- выполнено исследование процессов боксования колесно-моторных блоков электровоза с различными системами управления,

- определены значения параметров элементов системы на основании анализа поведения колесно-моторных блоков при боксовании,
- разработана АСПС для электровозов постоянного тока,
- проведены эксплуатационные испытания электровоза ВЛ10, оборудованного АСПС.

**Во второй главе** описаны работы по созданию автоматизированной системы повышения потенциального коэффициента сцепления электровоза (АСПС).

Используя данные испытаний электровозов с УПС и АСПС, опыт многолетней эксплуатации электровозов с УПС и АСПС, были определены требования к способу повышения потенциального коэффициента сцепления.

Способ повышения потенциального коэффициента сцепления разработан с учетом следующих важных положений:

1. Нельзя исключать работу колесно-моторных блоков с избыточным скольжением. Только в процессе работы колесной пары со скольжением происходят необходимые изменения в поверхностных слоях бандажа создающие условия для образования наростов, схватывания, удаления влаги, сгорания органических составляющих пленок и т. д. Эти изменения и обеспечивают рост коэффициента трения, рост потенциального коэффициента сцепления.

2. Необходимо учитывать и ограничивать время боксования и нагрев поверхностей трения.

3. Если после второй равновесной точки произойдет развитие процесса боксования, то в третьей равновесной точке необходимо, чтобы скорость скольжения не превышала 20 км/ч. Время боксования в этом устойчивом режиме не должно быть более 30 с.

Для того чтобы обеспечить возможное увеличение потенциального коэффициента сцепления за счет режимов кратковременных процессов боксования колесно-моторных блоков необходимо выполнить следующие условия, в течение короткого времени (3–5 с) колесная пара должна работать с избыточным скольжением:

- равновесная точка в режиме боксования должна находиться в интервале значений скорости скольжения 5–8 км/ч;
- в равновесной точке режим должен быть неустойчивым.

Для реализации способа система должна обеспечить оптимальную жесткость тяговой характеристики двигателя боксую-

щей колесной пары (для электровозов постоянного тока значения 2–3 кН/(км/ч), контроль за боксованием колесных пар. В АСПС данная задача решается с помощью шунтирования обмоток якорей тяговых двигателей. Силовая схема для первого и второго вариантов АСПС принята такая, как в УПС. Для обеспечения требуемой оптимальной жесткости тяговой характеристики необходимо определить значение сопротивления шунтирующей цепи при работе на «С» и «СП» соединениях ТЭД. Исходя из расчетного тока длительного режима шунтирующей цепи, определяется допустимое время включения шунтирующих цепей. С целью экономии электроэнергии на тягу поездов и из условия нагрева резисторов шунтирующей цепи определяется уставка реле времени.

Предварительно проведен анализ конкретного процесса боксования электровоза без применения АСПС. На рис. 7 приведена регистрация процесса боксования.

На осциллограмме, представленной на рис. 7, показана регистрация тока якоря, который равен току возбуждения, обороты всех восьми колесных пар, подача песка и время с дискретностью 1 с.

После набора позиции возникает боксование. Развитие процесса боксования шло следующим образом: сначала скорость скольжения растет, а ток снижается. Скорость скольжения увеличивается, а ток снижается до первой равновесной точки (точки пересечения тяговой характеристики и характеристики сцепления). Далее происходит рост силы тяги (тока двигателя) и снижение скорости скольже-

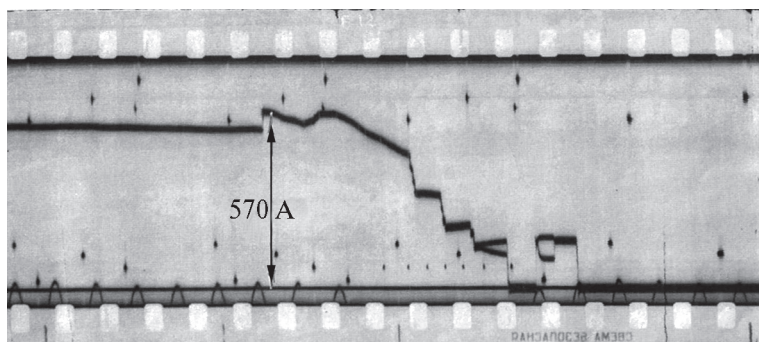


Рис. 7. Осциллограмма процесса боксования

ния до второй равновесной точки. После второй равновесной точки начинается развитие глубокого процесса боксования.

При первой равновесной точке сила тяги будет минимальная, а скорость скольжения максимальная. Ко второй равновесной точке скорость скольжения снижаясь, достигнет минимального значения. Во второй равновесной точке при скорости скольжения не равной нулю сила сцепления будет снижаться. Режим боксования будет не устойчивым и начнет развиваться глубокий процесс боксования.

Для графического описания рассматриваемого процесса боксования был выполнен расчет значений величин в характерных точках (в соответствующие моменты времени).

Результаты обработки данного процесса боксования оформлены в виде графических зависимостей силы тяги и силы сцепления от времени и скорости скольжения, представленные на рис. 8 и рис. 9.

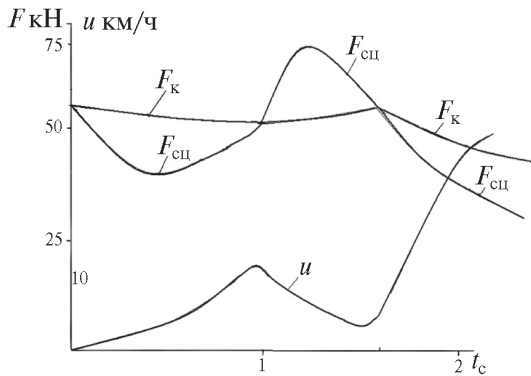


Рис. 8. Описание процесса боксования с использованием временных зависимостей

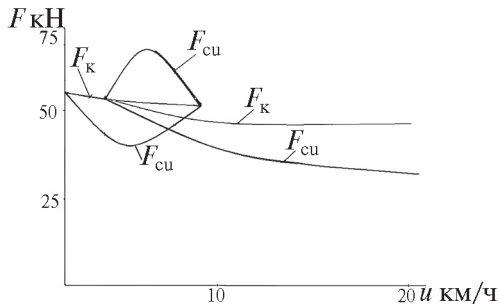


Рис. 9. Описание процесса боксования в координатах  $F(u)$

На рис. 9 представлено графическое описание рассматриваемого процесса боксования в координатах  $F=f(u)$ .

В отличие от характеристики сцепления, установленной Н.Н. Меншутиным (см. рис. 1), характеристика сцепления, представленная на рис. 9, имеет три составляющих характеристики сцепления. Для электровозов с мягкими тяговыми характеристиками двигателя боксующей колесной пары две первые составляющие характеристики сцепления практического значения не имеют.

У электровоза с АСПС второго варианта процессы боксования прекращаются без участия машиниста, иначе говоря, имеют место пробоксовки.

В качестве примера выполнен расчет и анализ процесса боксования электровоза при использовании АСПС второго варианта.

Выполненное графическое описание процесса боксования приведено на рис. 10.

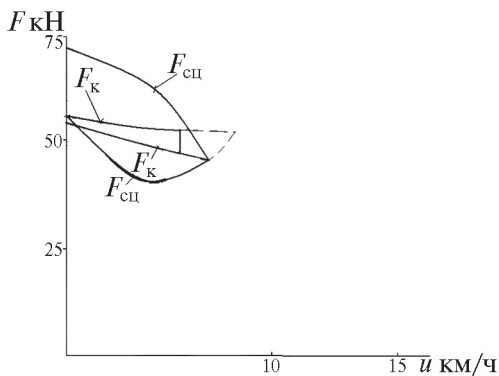


Рис. 10. Описание процесса боксования при работе АСПС

С помощью графического построения определено значение силы сцепления, равное 6500 кгс, которое установилось после процесса боксования. Соответственно значение коэффициента сцепления стало равно 0,28. До боксования значение коэффициента сцепления было меньше 0,24.

Руководствуясь требованиями к разработке автоматизированной системы повышения сцепления (АСПС), определив значения параметров системы, была выполнена разработка трех вариантов



АСПС, у которых будет обеспечена экономия электроэнергии, а не дополнительный расход электроэнергии на тягу поездов, что имело место при использовании УПС.

Силовая схема АСПС в первом и втором вариантах имеет вид представленный на рис. 11.

### I секция

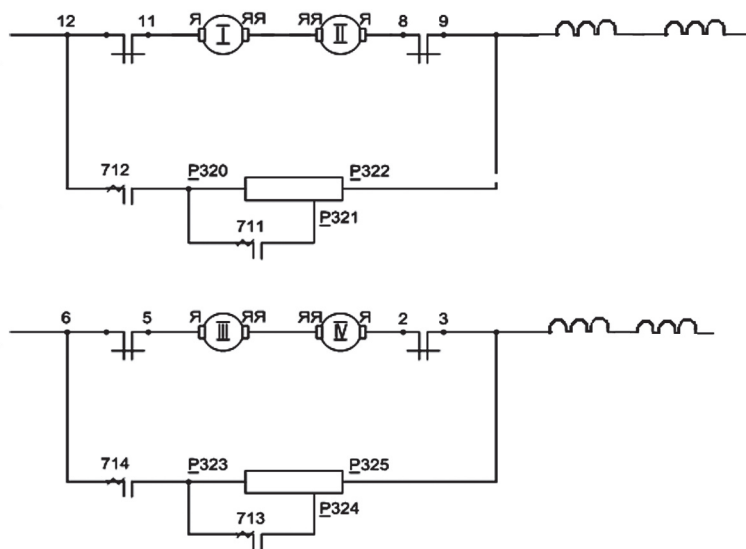


Рис. 11. Силовая схема секции электровоза с АСПС

Для включения шунтирующей цепи предусмотрен контактор для I и II двигателей 712, для III и IV двигателей контактор 714, для V и VI двигателей контактор 716 и для VII и VIII двигателей 718.

Для уменьшения сопротивления шунтирующей цепи при работе на «С» соединении предусмотрена установка контакторов 711, 713, 715, 717.

Контакторы включаются и выключаются схемой управления.

Схема цепей управления электровоза АСПС первого варианта представлена на рис. 12, а второго варианта на рис. 13.

Второй вариант АСПС проверен в 2009 г. при выполнении сравнительных тягово-энергетических испытаний электровоза ВЛ10-1507,

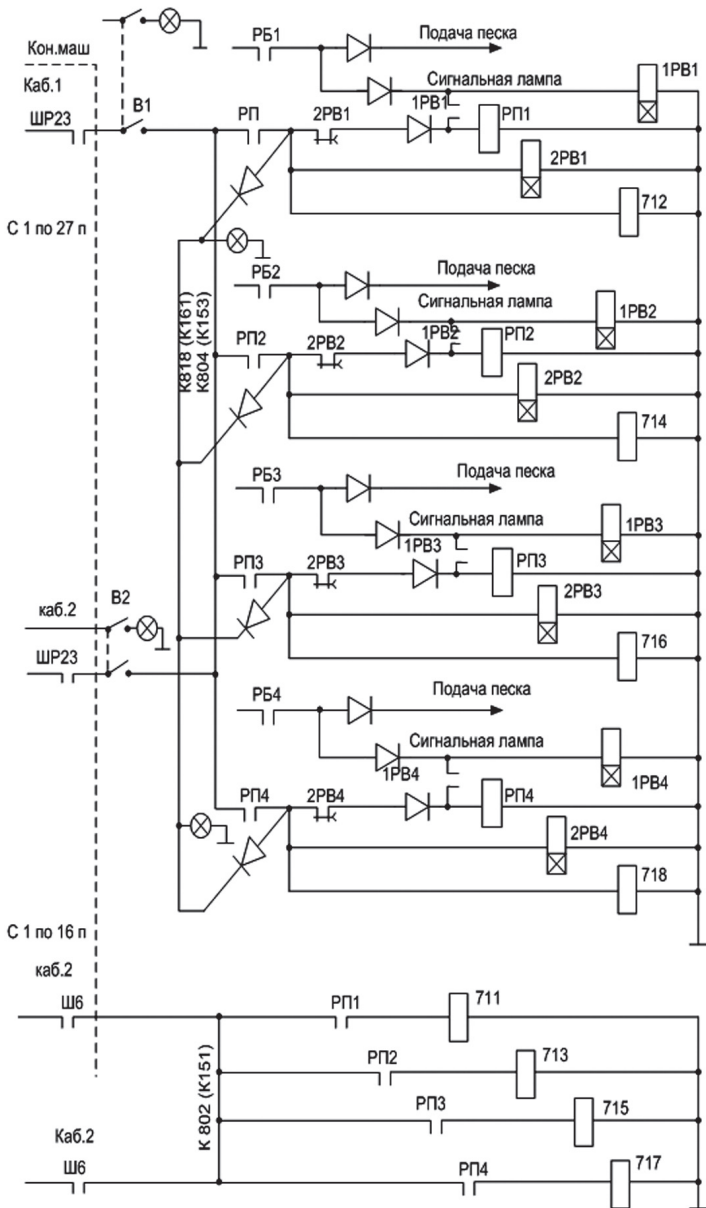


Рис. 12. Схема цепей управления электровоза с АСПС первого варианта

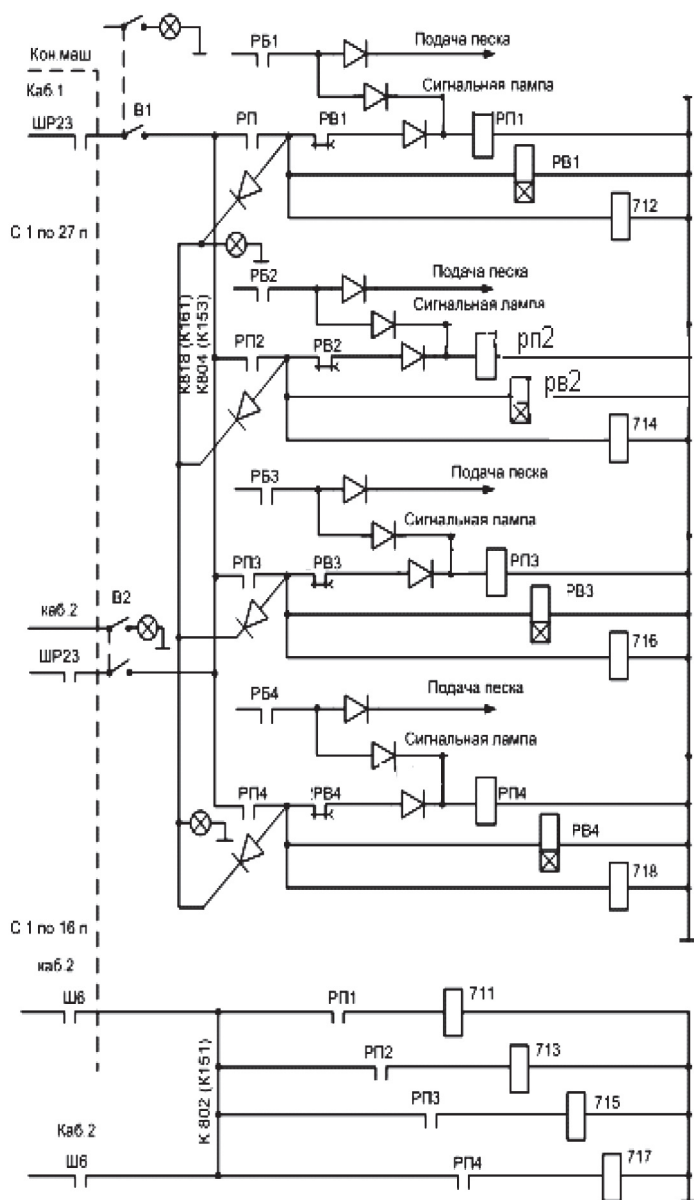


Рис. 13. Схема управления АСПС второго варианта

оборудованного системой повышения силы тяги по сцеплению (АСПС) и электровоза ВЛ10К-1543, оборудованного системой смешанного возбуждения тяговых электродвигателей. Электровоз ВЛ10-1507 с АСПС второго варианта работает на ЮУЖД.

После совещания у Вице-президента А.В. Воротилкина (протокол совещания от 21 апреля 2011 № АВ-92/пр) был разработан вариант АСПС, с использованием на «С», «СП» и «П» соединениях ТЭД.

Силовая схема АСПС одной секции электровоза для работы на «С», «СП» и «П» соединениях ТЭД, представлена на рис. 14.

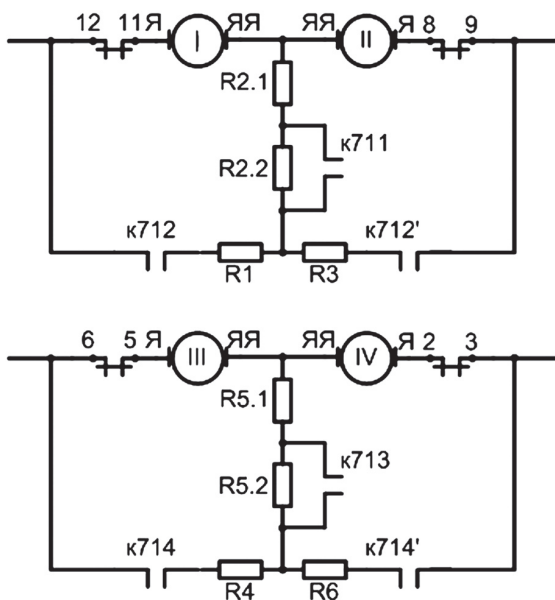


Рис. 14. Силовая схема АСПС с работой на «С», «СП» и «П» соединениях ТЭД

В основу разработки положен следующий алгоритм действий устройства: при работе на «С» соединении ТЭД при возникновении боксования шунтируются якоря двух двигателей, а при работе на «СП» и «П» соединениях ТЭД при возникновении боксования шунтируется обмотка якоря только боксующего моторно-колесного блока.

Модуль схемы управления устройством представлен на рис. 15.

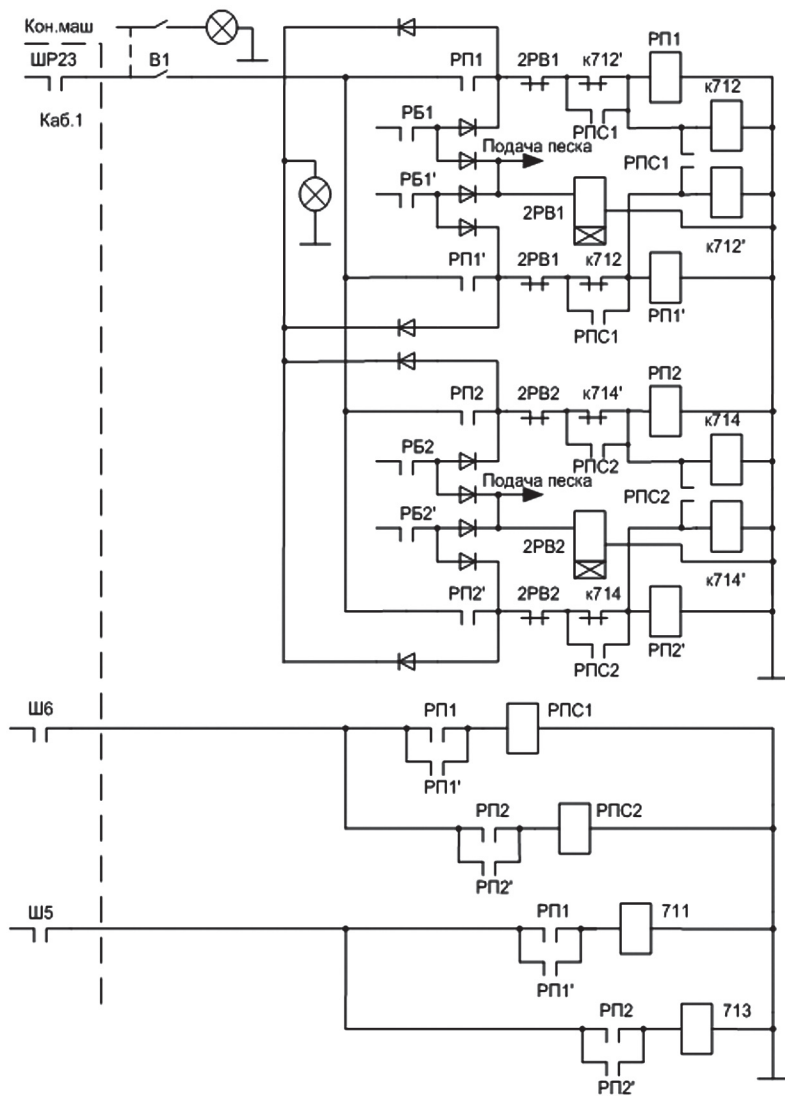


Рис. 15. Схема управления АСПС с работой на «С», «СП» и «П» соединениях ТЭД

**В третьей главе** описаны выполненные натурные испытания электровозов для подтверждения работоспособности и эффективности АСПС.

Для оценки работоспособности и эффективности АСПС при натуральных испытаниях регистрировали силу тяги на автосцепке электровоза, скольжение колесных пар, ток якоря и ток возбуждения, время подачи песка и время боксования, температуру обмоток электродвигателя, скорость движения электровоза. Натурные испытания электровоза, регистрация перечисленных величин выполнялась на базе вагон-лаборатории тягово-энергетических испытаний ЮУЖД с использованием автоматизированного комплекса сбора данных (АКСД).

На рис. 16. приведен список величин, которые регистрировались при поездках, а именно, скорости движения электровоза (от датчика, установленного в вагоне), напряжения контактной сети,

Имя	№	Vвар	Uис	Iя1	Iш1	Iш2	Iш3	Iш4
Значение	200	48.433	3252.7	433.54	-0.04425	-0.26549	-0.26549	-0.04425
Козф. пересчета		1	40	7.5	4.5	4.5	4.5	4.5

Имя	№	Соед	ОП	РБ	Песок
Значение	200	П	0	0	1
Козф. пересчета		0.2	0.2	0.2	0.2

Имя	№	Uдв	F	t
Значение	200	1575.8	38.67	33.461
Козф. пересчета		20	0.7	1.3

Рис. 16. Величины регистрации работы электровоза с помощью АКСД

тока якоря и токов в цепях шунтирования обмоток якорей.

Одновременно выполнялась регистрация соединения тяговых двигателей, режима работы на ослабленном возбуждении, подача песка и срабатывания реле боксования, реализуемой силы тяги электровоза, напряжение на двигателе, нагрев обмоток тяговых двигателей.

### **Результаты испытаний электровоза ВЛ10, оборудованного АСПС по первому варианту**

В 2004, 2005 и 2006 гг. были проведены комиссионные испытания электровоза ВЛ10-1507, оборудованного АСПС в первом варианте.

Поездка электровоза ВЛ10-1507 с поездом массы 3316 т на участке Челябинск-Златоуст состоялась 6 апреля 2006 г.

По регистрации времени отправления, времени прибытия и длине участка определена участковая скорость. Время хода по участку 2,64 ч. Длина участка 136 км. По этим данным определена участковая скорость, равная 51,5 км/ч. Расчетная участковая скорость участка Челябинск – Кропачево 42 км/ч.

Масса поезда была больше расчетной, которая для данного участка равна 3300 т.

Для оценки нагруженности электровоза по сцеплению были обработаны процессы боксования. Имели место 6 пробоксовок. Суммарное время пробоксовок было равно 195 с.

При длине участка 136 км, относительное суммарное проскальзывание колесных пар было равно 0,08%. Таким образом, режим нагруженности электровоза по сцеплению был экономный.

На участке Челябинск – Metallургическая были проведены опытные поездки электровоза ВЛ10 1507, оборудованного АСПС, с массами поезда до 6054 т. Опытные поездки выполнялись с остановкой перед 8‰ подъемом. Было выполнено 11 поездок с регистрацией работы колесно-моторного блока. Режимы нагруженности по сцеплению были экономные.

### **Испытания электровоза ВЛ10, оборудованного АСПС по второму варианту**

На участке Челябинск – Metallургическая электровоз ВЛ10-1507 с АСПС на 8‰ подъеме с массой поезда 5740 т реализовал пуск и проход подъема без боксования и применения песка. Реализуемый коэффициент сцепления был равен 0,29. Регистрация такой работы электровоза представлена на рис. 17.

При испытании электровоза ВЛ10-1507 на участке Кропачево – Челябинск при работе с массой поезда 3751 т (при норме 3300 т) электровоз обеспечил участковую скорость на участке Кропачево – Златоуст – 50,4 км/ч при расчетной скорости 42 км/ч. При этом режим работы по оценки нагруженности был экономный ( $\Delta L=0,6\%$ ,  $\Delta t_{бокс}=3\%$ ,  $\Delta t_{песк}=1,6\%$ ).

20 мая 2009 г. было выполнено испытание электровоза ВЛ10-1507 с АСПС с целью проверки ведения грузового поезда массой 6000 тонн по участку Челябинск - Карталы без толкача, с остановкой на станции Золотая Сопка. Результаты комиссионных испытаний следующие:

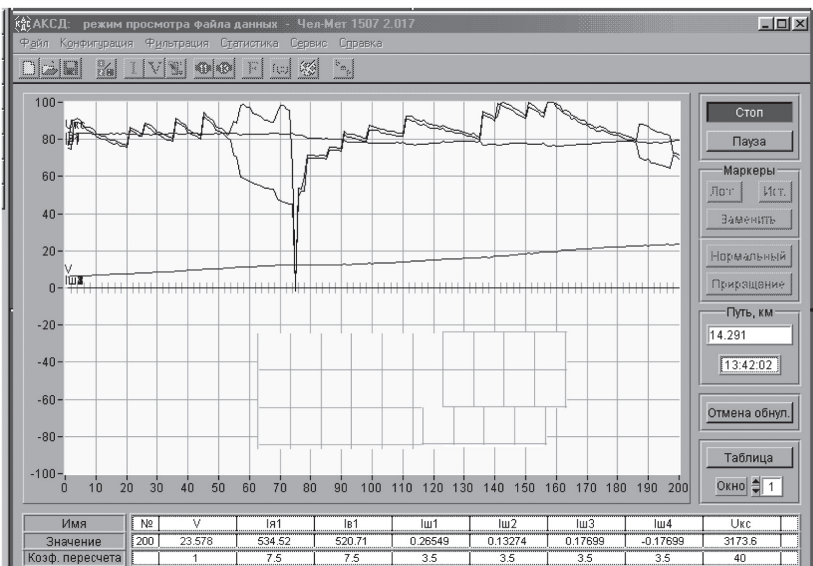


Рис. 17. Регистрация работы электровоза ВЛ10 с АСПС на подъеме

1. Поезд массой 6032 т проведен по лимитирующему подъему участка Челябинск-Карталы (Золотая Сопка – Магнай) после остановки на станции Золотая Сопка тягой одного электровоза № 1507.

2. При разгоне поезда после отправления со станции на режиме СП отмечено 2 срыва сцепления КП со срабатыванием РБ и включения шунтировок 1, 2, 3 ТЭД по ходу тележек. Устойчивого процесса боксования не было.

3. Песок под колесные пары для повышения сцепления при следовании по подъему не подавался.

Обработкой результатов поездки были определены участковая скорость равная 30 км/ч, расчетный коэффициент сцепления равный 0,3.

В соответствии с классификацией нагруженности электровоза по сцеплению, режим работы электровоза на участке Золотая Сопка – Магнай был экономный.

В результате выполненных натурных испытаний электровозов с АСПС в период с 2004 по 2009 гг. с регистрацией процессов боксования поездок на участке Челябинск – Кропачево, поездки на участке Челябинск – Карталы и двенадцати поездок на участке Челябинск



– Металлургическая были установлены следующие показатели использования АСПС:

1. Работа электровоза, оборудованного АСПС по первому варианту, обеспечила участковую скорость на участке Челябинск – Златоуст на уровне 50 км/ч (при расчетной скорости 42 км/ч). Реализуемый коэффициент сцепления был выше 0,27 (принятый расчетный коэффициент для ЮУЖД 0,244). Режим нагруженности электровоза по сцеплению был экономный.

2. Работа электровоза, оборудованного АСПС по второму варианту, обеспечила участковую скорость на уровне 50 км/ч, реализуемый коэффициент сцепления выше 0,29.

3. Проверена возможность пуска электровоза с АСПС на подъеме с поездом массы 5740 т. Электровоз работал без боксования и песок применяли только при трогании.

4. Поездка электровоза, оборудованного АСПС по второму варианту, с поездом массы 6032 т осуществлена без применения толкача.

Натурными испытаниями и опытом эксплуатации электровозов с АСПС доказана возможность работы электровозов без толкача и не надо будет требовать безостановочного пропуска поездов на станциях перед подъемами.

**В четвертой главе** был выполнен расчет экономической эффективности внедрения АСПС.

Расчет выполнен, руководствуясь «Методическими рекомендациями по расчету экономической эффективности новой техники и технологии, объектов интеллектуальной собственности и рационализаторских предложений», утвержденных ОАО «РЖД» в 2008 г., и показателями использования электровозов, расходными и доходными ставками, действующими на ЮУЖД.

В соответствии с расчетом годовой экономический эффект за счет эксплуатации электровозов с АСПС на ЮУЖД составит 1600 млн руб. Срок окупаемости определен в размере 0,236 г.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Определены условия устойчивости колесно-моторного блока в равновесных точках характеристик; установлена связь между

устойчивым режимом боксования и жесткостью тяговой характеристики двигателя боксующей колесной пары; установлено, что с помощью управления процессом боксования можно обеспечить повышение значения потенциального коэффициента сцепления, а тем самым, и реализуемого коэффициента сцепления.

2. На основании теоретических, экспериментальных исследований и натурных испытаний определены процессы, при которых возможен рост потенциального коэффициента сцепления. Определены требования к разработке устройств повышения потенциального коэффициента сцепления.

3. Доказана возможность и целесообразность применения систем для повышения потенциального коэффициента сцепления на электровозах постоянного тока. Системы проверены в опытной эксплуатации.

4. Для определения значений параметров элементов системы выполнено исследование процессов боксования электровоза с АСПС.

5. Разработаны АСПС в трех вариантах для применения на электровозах постоянного тока. Обоснованно выбран второй вариант, в котором необходимый режим боксования обеспечивается изменением уставки реле боксования.

6. Проведены натурные испытания электровоза, оборудованного АСПС, которые установили работоспособность и эффективность применения АСПС.

7. На основании результатов натурных испытаний и опыта эксплуатации электровозов ВЛ10 с АСПС в течение шести лет установлено, что за счет применения АСПС на электровозах ВЛ10 может быть обеспечено повышение реализуемого коэффициента сцепления на 18 и более процентов, снижение износа бандажей и расхода песка в несколько раз.

8. Выполненный расчет экономической эффективности применения АСПС на электровозах ВЛ10 установил срок окупаемости 0,236 г. При оборудовании АСПС электровозов ВЛ10 на ЮУЖД годовой экономический эффект составит 1600 млн руб. С точки зрения технической эффективности на ЮУЖД можно будет отказаться от толкачей, не требовать безостановочного пропуска тяжеловесных поездов на станциях пред подъемами, свести к минимуму количество растяжек поезда. Электровозы с АСПС обеспечат существенное увеличение провозной способности дороги.

**Основные положения диссертации опубликованы  
в следующих работах автора**

1. Самме Г.В., Яковлев В.А. Характеристики сцепления и поведение моторно-колесных блоков электровоза при боксовании // Наука и техника транспорта, №3, 2009. С. 16 – 26.

2. Яковлев В.А. Автоматизированная система повышения сцепления (АСПС) электровозов постоянного тока // Наука и техника транспорта, №2, 2010. С. 22 – 30.

3. Патент № 2398685 «Автоматизированное устройство повышения сцепления». Авторы: Самме Г.В., Яковлев В.А. Зарегистрирован в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 10 сентября 2010 г.

4. Самме Г.В., Яковлев В.А. Способы и средства повышения реализуемой силы тяги по сцеплению электроподвижного состава // Межвузовский сборник научных трудов. «Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта». – М.: РГОТУПС, 2005. С. 184 – 186.

5. Самме Г.В., Яковлев В.А. Использование результатов научных исследований для решения задач повышения реализуемой силы тяги по сцеплению электровоза // Межвузовский сборник научных трудов. «Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта». – М.: РГОТУПС, 2005. С. 187 – 192.

6. Самме Г.В., Яковлев В.А. Рациональная организация взаимодействия колес локомотива с рельсами. Межвузовский сборник научных трудов. «Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта». – М.: РГОТУПС, Т. 1, 2008. С. 90 – 94.

7. Ермаков А.Е., Яковлев В.А. Электротехнические системы и микропроцессорные комплексы повышения сцепления электровоза // Электроника и электрооборудование транспорта, № 1, 2012.

8. Патент №2440898 Микропроцессорная система защиты от боксования для электровозов постоянного тока. Приоритет изобретения 11 августа 2009 г. Авторы: Ермаков А.Е., Самме Г.В., Горелик В.Ю., Яковлев В.А.

ЯКОВЛЕВ Валерий Анатольевич

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЯГОВЫМ  
ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ СЦЕПНЫХ  
СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОВОЗА ПОСТОЯННОГО ТОКА

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

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

---

Тип. зак. 337

Подписано в печать 16.05.13

Усл. печ. л. 1,75

Тираж 80 экз.

Формат 60×90 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>

---