

Аспирант ПЕТРОВИЧ Л. В.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ ПРОТИВОБОКСОВЫХ СИСТЕМ
ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск
1967

Э109 а

НТБ
ДНУЗТ

Публичная защита диссертации состоится на заседании Ученого Совета в апреле 1967 года.

Просим Вас и сотрудников Вашего учреждения, интересующихся темой диссертации, принять участие в заседании Ученого Совета или прислать свои отзывы о работе по адресу:

г. Днепропетровск, 10, ул. Университетская, 2 институт инженеров железнодорожного транспорта.

Дата отправки автореферата

1967 г.

НТБ
ДНУЗТ

На правах рукописи

Аспирант ПЕТРОВИЧ Л. В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ ПРОТИВОБОКСОВЫХ СИСТЕМ
ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель —
доцент, кандидат технических наук
С. К. ЛАТЫШЕВ.

Днепропетровск
1967

3109a

НТБ
ДНУЗТ

Работа выполнена в Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта, а экспериментальная ее часть на электрифицированных участках Приднепровской и Донецкой железных дорог.

НТБ
ДНУЗТ

Основной задачей в развитии железнодорожного транспорта на ближайшие годы, поставленной в директивах XXIII съезда КПСС по пятилетнему плану, является дальнейшее повышение пропускной и провозной способности железных дорог. В связи с дальнейшим увеличением грузооборота железных дорог, актуальной является проблема полного использования мощности электрических локомотивов по сцеплению. Одной из основных технических задач в решении этой проблемы является борьба с боксованием.

Боксование на электроподвижном составе приводит не только к ограничению веса поездов, к нарушению режима ведения их, увеличению расхода электроэнергии, повышенному износу бандажей колесных пар, но и в ряде случаев вызывает серьезные механические и электрические повреждения тяговых двигателей локомотива. Анализ статистических данных ряда депо показывает, что 30% всех «круговых огней» было вызвано боксованием. Статистические данные по дефектировке тяговых двигателей ДПЭ-400, поступивших на Запорожский электровагоноремонтный завод с различных дорог страны, свидетельствуют о том, что 17,3% всех поврежденных двигателей составляют размотки якорных бандажей, причиной чего в основном является боксование.

На электроподвижном составе переменного тока реализация максимальной мощности до последнего времени ограничивалась конструктивными недостатками отдельных узлов. Однако опыт показывает, что при максимальном использовании выпрямительных электровагонов по сцеплению необходимо считаться с опасностью возникновения длительных пробок.

Все вышеизложенное свидетельствует о том, что ограничение боксования электроподвижного состава постоянного и переменного тока является весьма актуальной задачей и требует скорейшего разрешения.

В последнее время разработаны различные системы управления электрическими локомотивами, обеспечивающие регулирование тяговых характеристик, повышающие их жесткость и стабилизирующие работу тяговых двигателей. От практической реализации этих научных разработок можно ожидать значительного повышения тяговой устойчивости проектируемого электроподвижного состава.

Однако улучшение тяговых свойств электровазов эксплуатируемого парка должно идти по более простому пути и с меньшей затратой капитальных средств. Одним из таких путей является применение на эксплуатируемом парке электровазов различных противобоксочных систем (ПБС), которые автоматически, без участия машиниста, реагируют на начавшееся боксование. Наибольшее распространение (в СССР и за рубежом) получили системы, основанные на кратковременном снижении вращающего момента двигателя боксующей оси.

Повышение эффективности электрических противобоксочных систем возможно лишь при правильном выборе их параметров, получаемых при расчете электромеханических процессов.

Исходя из этого автор в своей работе ставил следующие задачи:

- 1) Разработка методики расчета электромеханических процессов при действии ПБС с применением математических машин непрерывного действия.

- 2) Разработка методики выбора оптимальных параметров систем.

- 3) Экспериментальное и теоретическое сравнение различных систем.

- 4) Оценка потенциальной устойчивости тяговых двигателей при боксовании и действии электрических ПБС.

- 5) Анализ особенностей процесса боксования и противобоксочных систем выпрямительных электровазов.

I. Электрические противобоксочные системы и методы расчета электромеханических процессов при их работе

Анализ различных методов ограничения боксования показывает, что наиболее рациональными для эксплуатируемого электроподвижного состава следует считать такие, которые обеспечивают кратковременное снижение вращающего мо-

мента двигателя боксующей оси. Последнее может быть осуществлено одним из следующих способов:

а) снижением напряжения двигателя, связанного с боксующей осью;

б) увеличением магнитного потока того же двигателя при параллельном соединении;

в) ослаблением поля двигателя боксующей оси при последовательном соединении тяговых двигателей;

г) шунтированием якоря двигателя боксующей оси сопротивлением.

Чтобы правильно выбрать параметры противобоксовочной защиты, необходимо проанализировать электрические и механические процессы, которые сопровождают действие противобоксовочной системы.

При таком исследовании необходимо установить зависимости от времени величины избыточного скольжения боксующей колесной пары и приложенной к ней силы тяги при развитии боксования и ликвидации его в результате воздействия на двигатель боксующей оси одной из электрических противобоксовочных систем.

Для решения уравнений, описывающих электромеханический процесс, до настоящего времени были предложены различные методы расчета. Проф. Д. К. Минов использовал для этого метод конечных приращений. Методика к. т. н. Дорошина Е. Р. предполагает дальнейшее развитие этого метода с новым способом учета изменения силы на ободах колес.

Канд. техн. наук Приваловым В. В. и инж. Черновым Р. В. предложен способ расчета электромеханических процессов, основанный на совместном рассмотрении характеристики боксования и характеристики сцепления, позволяющий при графоаналитическом интегрировании уравнения замедляющих сил получить описание процесса изменения избыточного скольжения во времени.

В первой главе реферируемой работы автор привел расчет электромеханического процесса при работе противобоксовочных систем на основании методики к. т. н. Петрова Б. П. Эта методика предполагает кусочно-линейную аппроксимацию кривой намагничивания двигателя, кривой зависимости коэффициента сцепления от скорости скольжения и кривой силы тяги. При допущении, что величина магнитного потока двигателя в процессе боксования остается постоянной в пределах одного интервала тока, уравнения электромеханического процесса приводятся к линейным и могут быть решены анали-

тически. Принятые допущения снижают трудоемкость расчета, уменьшая его точность, особенно в зонах малого насыщения, где изменения магнитного потока, даже при малых интервалах тока, значительны.

Анализ существующих методов расчета показал, что все они отличаются большой трудоемкостью и наличием ряда допущений. Это потребовало разработки новой методики расчета, которая бы позволяла более быстро и точно рассчитывать параметры любой системы.

В связи с этим автор разработал методику расчета электромеханических процессов при действии ПБС на аналоговых математических машинах, что помимо сокращения трудоемкости позволило отказаться от целого ряда допущений и получить более полную картину явлений.

2. Математическое моделирование электромеханических процессов при боксовании и работе противобоксовочных систем

При исследовании электромеханических процессов боксования и действия противобоксовочных систем, когда необходимо изучить влияние различных параметров на работу системы, метод математического моделирования наиболее полно удовлетворяет поставленным целям и задачам исследований. Применение электронных моделирующих установок дает возможность с достаточной точностью решать системы нелинейных уравнений и тем самым существенно облегчить и ускорить процесс исследования.

В работе приведены методы моделирования электромеханических процессов при боксовании и при действии ПБС. За исходные уравнения электрического процесса в цепи двигателя боксующей колесной пары при боксовании одного из « n » последовательно соединенных тяговых двигателей приняты следующие:

$$\frac{dI}{dt} = \frac{1}{L_1} \left(\frac{U_c}{n} - (R_p + r_{аб}) I - 2p \omega_b \frac{d\Phi}{dt} - c\Phi v_0 - \frac{c\Phi u}{n} \right) \quad (1)$$

$$\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{r_0 \omega_b}{\omega_0^2 \sigma} i_m + \frac{r_0 \omega_b}{\omega_0^2 \sigma} I, \quad (2)$$

где U_c — напряжение в контактной сети;

$R_p, r_{ав}$ — сопротивление пускового реостата, отнесенное к одному двигателю и сопротивление обмоток тягового двигателя;

i_0 — вихревой ток;

w_0, r_0 — число витков и сопротивление контура вихревых токов;

σ — коэффициент магнитного рассеяния;

w_b — число витков главного полюса;

$2p$ — число полюсов;

L_1 — индуктивность обмоток якоря и дополнительных полюсов тягового двигателя;

v_0, u — скорость начала боксования и величина избыточного скольжения.

Уравнения (1) и (2) учитывают влияние на электрический процесс вихревых токов. Однако экспериментальные данные показали, что можно пренебречь их влиянием, т. к. di/dt при боксовании составляет 300—500 а/сек и поэтому расхождение в решении не превышает 0,5%. С учетом этого уравнение (1) может быть представлено в следующем виде:

$$\frac{dI}{dt} = \frac{1}{L_{ав}} \left(\frac{U_c}{n} - I(R_p + r_{ав}) - c\Phi v_0 - \frac{c\Phi u}{n} \right). \quad (3)$$

Механический процесс изменения силы сцепления лимитирующей колесной пары описывается уравнением вращения боксующего колеса при нарушении сцепления:

$$m \frac{du}{dt} = F_k - S_t, \quad (4)$$

где m — приведенная масса вращения колесной пары и двигателя;

du/dt — скорость изменения скольжения;

F_k — сила, приложенная к ободу колеса;

S_t — сила сцепления колеса и рельса.

Моделирование величин, входящих в (4), осуществлялось следующим образом.

Сила тяги, приложенная к ободу колеса F_k , выражалась через электрические величины ток I и поток $c\Phi$, текущие значения которых определялись из уравнения (3).

Сила сцепления выражается зависимостью

$$S_t = \psi_s \Pi_s, \quad (5)$$

где ψ_s — текущее значение коэффициента сцепления;

Π_s — текущее значение вертикальной нагрузки колесной пары.

Величины ψ_s и Π_s зависят от многих переменных факторов, однако их изменение подчиняется определенным закономерностям, которые были учтены при моделировании.

Так, за основу моделирования текущей величины коэффициента сцепления ψ_s была принята зависимость $\psi_s/\psi_0 = f(u)$, приведенная в работе к. т. н. Меньшутина Н. Н., которая учитывает и влияние поступательной скорости на величину коэффициента сцепления. Использование такой зависимости значительно упрощает модель.

Моделирование позволяет учесть механический гистерезис, имеющий место при ликвидации боксования.

Для этого модель дополняется функциональными преобразователями и переключающим устройством, которые включаются в работу при моделировании процесса ликвидации боксования.

При моделировании текущего значения нагрузки на колесную пару Π_s учитывались статические отклонения нагрузок осей, отклонения, вызванные реализацией рабочего режима и динамическая составляющая. Последняя учитывалась на основании исследований к. т. н. Барского М. Р., в которых основным возбудителем динамических колебаний принимались удары на стыках.

С учетом всего этого текущее значение нагрузки на ось принималось равным

$$\Pi_s = P_{уст} + A \cos \frac{v}{3,6 l_p} 2 \pi t, \quad (6)$$

где $P_{уст}$ — устойчивая составляющая нагрузки оси;

A — амплитудное значение динамической составляющей;

v — скорость движения электровоза;

l_p — расстояние между стыками (длина рельса).

Таким образом, исходное уравнение изменения силы сцепления боксующей оси представлено к моделированию в следующем виде:

$$\frac{du}{dt} = \frac{0,367 c F I \eta_n}{m} - \frac{\left(P_{уст} + A \cos \frac{v}{3,6 l_p} 2 \pi t \right) \psi(u)}{m} \quad (7)$$

Модель, составленная для решения уравнений (3) и (7), позволяет путем изменения соответствующих коэффициентов исследовать влияние различных факторов на процесс боксования (влияние величины напряжения в сети, индуктивности

цепи, ослабления поля возбуждения, влияние ввода реостата, разгрузки оси, подачи песка, ухудшения коэффициента сцепления и т. д.). Сравнение расчетных и экспериментальных данных, выполненное автором, указывает на вполне удовлетворительную сходимость результатов, что свидетельствует о правильности методики моделирования.

Проведенные в работе исследования электромеханических процессов боксования послужили основой для создания универсальной модели для анализа этих же процессов при действии различных противобоксовочных систем. Универсальная модель позволяет производить широкое изучение влияния различных параметров противобоксовочных систем на их эффективность при ликвидации боксования, что значительно уменьшает трудоемкость выбора оптимальных параметров защитных устройств.

3. Вопросы устойчивой работы противобоксовочных систем

Исследования показывают, что устойчивая и эффективная работа ПБС зависит от ряда конструктивных и эксплуатационных факторов, из которых главными являются:

- а) правильный выбор электрических параметров системы;
- б) стабильность включения датчиков обнаружения боксования;
- в) продолжительность электрического воздействия на двигатель боксующей оси в процессе ликвидации избыточного скольжения;
- г) правильный выбор тепловых параметров оборудования систем.

В третьей главе проанализированы эти факторы.

Боксование может быть ликвидировано при снижении силы тяги двигателя боксующей оси на величину, которая будет превышать ускоряющую силу, действующую на колесную пару при развитии скольжения. Определение степени такого превышения для ликвидации боксования на различных режимах работы тяговых двигателей даст оптимальную величину снижения вращающего момента двигателя оси, потяравшей сцепление. Эти вопросы достаточно полно разработаны в работах к. т. н. Дорошина Е. Р., которым рекомендованы величины оптимальных замедлений, соответствующие оптимальным параметрам ликвидации боксования. На основе этих данных автором разработана методика определения оп-

тимальных электрических параметров на математических машинах непрерывного действия, что значительно сокращает трудоемкость расчета.

Суть предложенной методики заключается в следующем.

Решение системы уравнений, описывающих электромеханический процесс при работе любой системы, дает возможность определить: продолжительность ликвидации боксования, величину снижения силы тяги двигателя боксующей оси, изменение тока, силы и избыточного скольжения во времени в процессе ликвидации боксования.

Построение зависимости времени ликвидации боксования $t_{\text{лб}}$ от величины электрического параметра системы (например, сопротивления шунтирующего якоря двигателя — $R_{\text{ш}}$) и скольжения, соответствующего моменту срабатывания системы $t_{\text{лб}} = f(R_{\text{ш}}; \mu)$, позволяет связать величины замедления колесной пары « b » и параметр электрической цепи системы, т. е. получить зависимость $R_{\text{ш}} = f(b, \mu)$. Задав зону оптимального замедления и зная величину избыточного скольжения, при котором происходит включение системы, можно получить оптимальные величины $R_{\text{ш}}$, соответствующие этим замедлениям.

Расчет по предложенной методике электрических параметров системы с шунтированием якоря омическим сопротивлением применительно к электровозу ВЛ22^м показал, что при начальных токах боксования $I_0 = 400$ а, оптимальная величина шунтирующего сопротивления $R_{\text{ш}}$ для последовательного соединения составляет 2,4 ома, для последовательно-параллельного — 5 ом, для параллельного — 8,5 ом.

Следовательно, наши исследования показывают, что электрические параметры эксплуатируемой в настоящее время системы с шунтированием якоря сопротивлением 6,33 ома значительно отличаются от оптимальных. Это отражается на эффективности ликвидации боксования и приводит к нарушениям работы этой системы.

Оптимальной величиной сопротивления, необходимого для ввода в цепь двигателя боксующей оси при ликвидации боксования на параллельном соединении электровоза ВЛ22^м и начальном токе боксования $I_0 = 300—400$ а является 0,6—0,7 ома. Эти оптимальные параметры соответствуют скольжениям, на которые реагируют датчики боксования (1—1,5 м/сек).

Исследование электромеханических процессов на моделирующей установке выявило большое влияние стабильности

включения датчиков боксования на работу противобоксовочных систем. Нарушение стабильности включения в ряде случаев может существенно повлиять на качественную сторону процесса.

Анализ осциллограмм модели-аналога показал, что система с шунтированием якоря сопротивлением значительно менее чувствительна к нестабильности включения реле боксования, чем система с введением сопротивления. Это требует применения в последней более чувствительного органа обнаружения избыточного скольжения.

Картина работы противобоксовочной системы не может быть полной без оценки времени электрического воздействия на двигатель боксующей оси. Опытные исследования показали, что моменту выключения системы обычно соответствовала какая-то конечная величина избыточного скольжения, т. е. боксование прекращалось неполностью, хотя воздействие, оказываемое на тяговый двигатель боксующей оси, было близким к оптимальному.

Исследования установили, что причиной этого явления оказывается недостаточная продолжительность действия системы. В реферируемой работе анализируются факторы, от которых зависит продолжительность действия системы и дается методика определения рационального времени электрического воздействия на тяговый двигатель боксующей оси. Для этой цели используется разработанная в главе второй универсальная модель для изучения электромеханических процессов. Выбор оптимальной продолжительности действия системы позволяет исключить «звонковую» работу контакторов, включающих сопротивления, повысить эффективность ликвидации боксования и значительно сократить расход песка.

Выбор электрических и временных параметров системы тесно связан и с тепловыми режимами сопротивлений посредством которых система оказывает свое воздействие на двигатель боксующей оси.

В работе проанализированы тепловые нагрузки сопротивлений противобоксовочных систем, эксплуатируемых в настоящее время. При этом показано, что сопротивления системы с шунтированием якоря сопротивлением $R_{ш} = 6,33$ ом имеют недостаточный запас тепловой мощности, т. к. превышение максимально-допустимой температуры при ликвидации боксования на параллельном соединении достигается через 14 сек. На последовательном соединении тяжелый тепловой режим шунтирующих сопротивлений обусловлен несо-

ответствием их величин оптимальным значениям. В связи с этим, несмотря на сравнительно небольшие величины токов шунтирующей цепи, тепловая нагрузка сопротивлений значительна и в среднем близка к тепловой нагрузке при ликвидации одной пробоксовки на параллельном соединении. Это положение достаточно полно подтвердилось экспериментальными данными.

Расчет на модели-аналоге позволил сравнить между собой различные противобоксовочные системы по величине потерь энергии на сопротивлении при ликвидации одной пробоксовки. При одинаковых условиях возникновения боксования в режиме часовой нагрузки, потеря энергии на шунтирующем сопротивлении в системе с шунтированием якоря в 2—3 раза больше, чем в системе с введением сопротивления в цепь двигателя боксующей оси. Это обстоятельство может быть решающим при выборе типа противобоксовочной системы на электроподвижном составе, где затруднено расположение сопротивлений большой тепловой мощности.

4. Экспериментальные исследования противобоксовочных систем электроподвижного состава постоянного тока

При экспериментальных исследованиях ставились задачи проверки правильности разработанной автором методики расчета, определение эффективности действия различных систем, сравнение электрических и временных параметров с оптимальными, определение тепловых нагрузок сопротивлений системы, изучение влияния нестабильности включения датчиков боксования, оценка потенциальных условий на коллекторе тягового двигателя при работе различных противобоксовочных систем.

Экспериментальному исследованию подвергались 2 системы: система, основанная на шунтировании якоря двигателя боксующей оси, известная в практике по имени ее создателя инженера Матвеева и система автора, включающая различные способы воздействия на двигатель боксующей оси (шунтирование якоря на С, введение сопротивления на СП и П и усиление поля при работе двигателя на ОП), известная, как «схема ДИИТа».

Опытные поездки проводились в эксплуатационных условиях на участке Пятихатки-Ясиноватая в марте-мае 1965 г. на электровозах серии ВЛ22^м. Два электровоза, оборудован-

ные различными противобоксовочными системами, были соединены по системе многих единиц и управлялись из одной кабины. Схемой управления была предусмотрена возможность отключения заднего по ходу электровоза на тяжелых участках профиля пути, что создавало условия для возникновения боксования у исследуемого электровоза. Всего за время испытаний было проведено 22 поездки с поездами весом 4500–5500 т и зарегистрировано на осциллографе более 200 случаев потери сцепления и его восстановления при действии защиты.

Эксперименты показали достаточную сходимость результатов расчетов электромеханических процессов, произведенных на машинах непрерывного действия с экспериментальными, и полностью подтвердили ранее высказанные теоретические положения.

5. Исследование электромеханических процессов при работе противобоксовочных систем на выпрямительных электровозах

Из теоретического анализа особенностей процесса боксования выпрямительных электровозов, опыта эксплуатации их и экспериментальных данных следует, что нельзя недооценивать возникновения и последствия боксования на этих локомотивах. Это требует оборудования их надежными устройствами обнаружения и ликвидации избыточного скольжения.

Существует ряд превентивных мер, реализация которых затруднит возникновение боксования (плавное регулирование при пуске, ужесточение тяговых характеристик, электрическое спаривание и т. д.). Однако для полного использования выпрямительных электровозов по сцеплению целесообразно оборудовать их противобоксовочными электрическими системами, основанными на принципе снижения вращающего момента двигателя боксующей оси.

За рубежом (Франция) широко применяются подобные системы, использующие известные способы снижения вращающего момента (понижение напряжения на зажимах двигателя, шунтирование якоря и т. п.). Анализ различных способов снижения вращающего момента показывает, что наиболее целесообразно на выпрямительных электровозах применить систему с усилением поля двигателя боксующей оси.

Идея усиления поля двигателя боксующей колесной пары была впервые высказана к. т. н. Бовэ Е. Г. и реализо-

вана на электроподвижном составе постоянного тока. Недостатком этой системы являлось то, что оптимальное снижение силы тяги двигателя боксующей оси осуществлялось лишь в узком диапазоне нагрузок. Поэтому в реферируемой работе разработана система усиления поля, лишенная этого недостатка и позволяющая на современном техническом уровне получить устройство, надежно ликвидирующее боксование и имеющее малые габариты и относительную простоту.

Требование оптимального снижения силы тяги в широком диапазоне нагрузок в предложенном устройстве достигается при использовании источника усиления поля с регулируемой ЭДС. Таким источником был принят выпрямительный мост с управляемыми вентилями. Поскольку величина тока усиления поля должна быть функцией тока тяговых двигателей, то введена зависимость между величиной ЭДС источника усиления поля и величиной тока тягового двигателя боксующей оси.

Конструктивно такая зависимость выполняется либо посредством включения в цепь питания выпрямительного моста дросселя насыщения, у которого обмотка подмагничивания будет обтекаться током одного из двигателей, либо посредством регулирования величины выпрямленного напряжения управлением тиристорами выпрямительного моста. В последнем случае регулирование напряжения возможно с помощью известных схем фазового смещения момента открытия тиристора. Фазосдвигающее устройство при этом получает сигнал, определяемый величиной тока цепи двигателя. Применение последнего способа предпочтительно, т. к. отпадает необходимость установки на электровоз дросселя насыщения.

В качестве исполнительного устройства в системе предусматриваются тиристоры, которые обеспечивают селективное воздействие на каждый тяговый двигатель по сигналу бесконтактного датчика боксования, основанного на принципе сравнения пазовых частот тяговых двигателей.

Предлагаемая система обладает следующими достоинствами:

а) обеспечивает оптимальные величины снижения силы тяги двигателя боксующей оси во всех режимах работы электровоза;

б) является бесконтактной и быстродействующей;

в) имеет незначительные габариты дополнительного оборудования.

Расчет параметров ПБС выпрямительных электровозов также следует производить на электронной моделирующей установке. При этом необходимо учитывать следующие особенности этих локомотивов: наклон внешней характеристики выпрямителей, схему питания тяговых двигателей (групповая или блочная), наличие постоянного ослабления поля, наличие дополнительных индуктивностей в цепи выпрямленного тока и параллельное включение тяговых двигателей.

В работе приводятся блок-схемы модели для исследования электромеханических процессов развития и ликвидации боксования на выпрямительных электровозах и даны примеры решений уравнений, описывающих эти процессы.

6. Потенциальные условия на коллекторе тягового двигателя боксующей оси при действии ПБС

Боксование колесных пар электровозов постоянного тока вызывает нарушение нормальной работы тягового двигателя и прежде всего ухудшение потенциальных условий на его коллекторе, т. к. напряжение на двигателе боксующей оси, как правило, превышает номинальное.

Одновременно из-за неустойчивости механического контакта между колесом и рельсом резко увеличиваются динамические воздействия на щеточный аппарат, вызывающие искрение механического характера. Ухудшение коммутации и потенциальных условий приводит к возникновению круговых огней на коллекторах двигателей.

Экспериментальные данные показывают, что напряжение на двигателе боксующей оси может возрасти по сравнению с нормальным в 3—4 раза на последовательном соединении двигателей, в 2 раза при последовательно-параллельном и в 1,5 раза при параллельном. Соответственно возрастают и напряжения между соседними коллекторными пластинами, достигающие 50—55 в при параллельном соединении и напряжении в контактной сети 3300 в.

В связи с этим чрезвычайно актуален вопрос об определении чувствительности датчика боксования, которая бы обеспечивала предотвращение возникновения кругового огня из-за ухудшения потенциальных условий на коллекторе. С этой целью автором разработана методика, позволяющая определять максимально-допустимые по потенциальной устойчивости двигателя величины избыточного скольжения. Предло-

женная методика основывается на анализе зависимостей максимальной величины межсегментного напряжения от нагрузки и степени ослабления поля (по работе к. т. н. Корепанова Г. Я.) и расчетной зависимости избыточного скольжения от напряжения на двигателе боксующей оси.

Так, для двигателя ДПЭ-400, при напряжении в контактной сети 3300 в, датчики боксования электровоза ВЛ22^м должны реагировать на скольжение 1—1,5 м/сек, что обеспечит потенциальную устойчивость двигателя и согласуется с основными требованиями к противобоксовочным системам.

Работа электрических противобоксовочных систем сопровождается изменением соотношения между магнитными полями главного полюса и якоря. Так как от этого отношения зависят потенциальные условия на коллекторе, то в шестой главе проведен анализ влияния некоторых противобоксовочных систем на потенциальную устойчивость двигателя.

Известно, что потенциальные условия на коллекторе оцениваются коэффициентом искажения поля, который в свою очередь зависит от коэффициента магнитной устойчивости.

Рассматривая ПБС с шунтированием якоря двигателя сопротивлением отмечаем, что при действии системы ток в цепи якоря уменьшается и иногда меняет свое направление. Уменьшение намагничивающей силы якоря приводит к резкому возрастанию коэффициента устойчивости и уменьшению искажения поля в воздушном зазоре машины.

Теоретические исследования, приведенные в диссертации, показали, что максимальные напряжения между пластинами с момента шунтирования якоря уменьшаются на 30—40%.

При опытных испытаниях электровоза, оборудованного системой шунтирования якоря сопротивлением, эти расчеты были подтверждены.

Противобоксовочные системы с введением в цепь двигателя боксующей оси омического сопротивления не изменяют соотношения магнитных полей внутри машины. Экспериментальные исследования показали, что потенциальные условия на коллекторе при ее работе изменяются незначительно.

Анализ потенциальной устойчивости, предложенной в свое время системы с шунтированием обмотки возбуждения при коэффициенте ослабления поля $\beta = 0,36$, указывает на значительное увеличение межламельного напряжения в момент включения системы, т. к. коэффициент искажения при этом увеличивается в 1,78 раза.

Система с усилением поля двигателя боксующей оси при

своей работе способствует улучшению потенциальных условий на коллекторе, но в меньшей степени, чем система с шунтированием якоря.

Таким образом, сравнение различных противобоксочных систем с точки зрения повышения потенциальной устойчивости двигателей отдаёт предпочтение системе шунтирования якоря омическим сопротивлением.

В ы в о д ы

Результаты теоретических и экспериментальных исследований, проведенных в работе, сводятся к следующему:

1. Разработаны методы исследования электромеханических процессов при боксовании и действия противобоксочных систем с использованием математических машин непрерывного действия, которые позволяют установить оптимальные параметры этих систем.

2. Показано, что при правильном выборе электрических и временных параметров ПБС возможно осуществить надежную ликвидацию боксования за счет электрического воздействия на тяговый двигатель боксующей колесной пары, что резко сократит расход песка.

3. Обоснована необходимость и даны конкретные рекомендации о величине выдержки времени при выключении распорядительного органа системы, что обеспечит требуемую продолжительность электрического воздействия на тяговый двигатель для прекращения боксования.

4. Установлено, что временные и электрические параметры широко распространенной сейчас системы с шунтированием якоря сопротивлением не соответствуют оптимальным значениям, что приводит к недостаточной эффективности в ликвидации боксования и тяжелому тепловому режиму сопротивлений системы. Эти факторы и являются основными причинами неудовлетворительной работы этой противобоксочной системы в эксплуатации.

5. Установлено, что неизменные по величине электрические параметры противобоксочных систем обеспечивают ликвидацию боксования с оптимальными величинами замедления колесной пары лишь в узкой части диапазона режимов работы электровоза. В связи с этим определены границы изменения этих параметров для каждого соединения тяговых двигателей.

6. Произведено теоретическое и экспериментальное сравнение противобоксовочной системы с шунтированием якоря и системы с введением сопротивления в цепь двигателя боксующей оси, в результате чего определены рациональные области их применения на эксплуатируемом и проектируемом электроподвижном составе.

7. Доказано, что и для выпрямительных электровозов, с целью максимального их использования по сцеплению, необходимо применение электрических противобоксовочных систем.

Для выпрямительных электровозов предложена противобоксовочная система с усилением поля боксующего двигателя от постороннего источника и регулированием степени усиления по закону оптимального снижения силы тяги двигателя. Предложенная система позволит обеспечить надежную ликвидацию боксования в широком диапазоне работы двигателей.

8. Разработана методика оценки потенциальных условий на коллекторе тягового двигателя при боксовании и при воздействии на двигатель различных противобоксовочных систем.

9. Предложен и практически использован новый метод регистрации скольжения боксующей колесной пары посредством измерения частоты перемagnetничивания якоря тяговой машины.

10. Определены величины предельных скольжений, которым должна соответствовать чувствительность датчиков боксования для предотвращения кругового огня, возникающего из-за ухудшения потенциальных условий на коллекторе двигателя боксующей оси.

В заключение следует отметить, что применение математических машин непрерывного действия для исследования процессов боксования и ликвидации его является эффективным средством для изучения этих сложных процессов, т. к. дает возможность не только сокращения времени расчета, а позволяет глубже и точнее исследовать эти процессы и получить ряд рекомендаций по проектированию противобоксовочных устройств для эксплуатируемого и вновь создаваемого электроподвижного состава.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Латышев С. К., Петрович Л. В. — Противобоксовочные схемы электровозов постоянного тока. Издательство НТО ДИИТа и Приднепровской жел. дор., 1962.
2. Петрович Л. В. — Сравнение противобоксовочной эффективности схем шунтирования якорей тяговых двигателей. Труды ДИИТа, вып. 54, 1965.
3. Петрович Л. В. — Улучшение работы датчиков боксования моторвагонного состава. Труды ДИИТа, вып. 58, 1966.
4. Петрович Л. В. — К вопросу расчета электрических противобоксовочных систем. Труды ДИИТа, вып. 66, 1966.
5. Петрович Л. В. — Усиление поля двигателя боксующей оси на электровозах переменного тока. Труды ДИИТа, вып. 66, 1966.
6. Латышев С. К., Петрович Л. В. — Разработка схемы ограничивающей боксование для электровозов постоянного тока (рукопись). Отчет по научно-исследовательской теме, ДИИТ, 1961.

Материалы диссертации докладывались автором:

1. На научном семинаре кафедр электроподвижного состава и электрических машин Днепропетровского института инженеров ж. д. транспорта (1965—1966).
2. На технической конференции Донецкой ж. дороги в депо Славянск (1961 г.).
3. На Запорожском электровозоремонтном заводе (1965 г.).
4. На 17-ой научно-технической конференции Днепропетровского института инженеров жел. дор. транспорта (1967 г.).

НТБ
ДНУЗТ

БТ 08548. Областная книжная типография
Днепропетровского областного управления по печати,
г. Днепропетровск, ул. Серова, 7.
Заказ № 527-м. Тираж 200. Объем 1,25 п. л. Подписано к печати 10.III-67 г.

НТБ
ДНУЗТ