

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКОВ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА РУДНИЧНЫХ ЭЛЕКТРОВОЗОВ

Синчук О.Н., д.т.н., проф., Мельник О.Е., инж.,

Синчук И.О., асп., Черная В.О., асп.,

Ключка А.С., асп.

*Кременчугский государственный политехнический университет имени Михаила Остроградского
39600, г. Кременчуг, ул. Первомайская, 20*

E-mail: energy@polytech.poltava.ua

Викладені результати досліджень впливу конструктивних, технологічних та експлуатаційних факторів на розподілення струмів у ланцюгах тягових двигунів багатодвигунної структури тягового електропривода постійного струму рудникових контактних електровозів.

Ключевые слова: рудниковий електровоз, тяговий електропривод, параметри

The efforts results of constructive, technological and operational factors impact current division in the tractive motors chain being part of a multimotor structure of direct current tractive electric drive in mine contact electric locomotives have been stated.

Key words: mine electric locomotive, traction electric drive, parameters

Введение. Основопологающим источником роста ВВП Украины в настоящем и в ближайшие 25-35 лет, является добыча и реализация полезных ископаемых (ПИ) – руды, угля [1].

Несмотря на то, что с 1997 г. в горной отрасли появилась тенденция к росту добычи ПИ и снижения удельных расходов электроэнергии (ЭЭ), последние, все же, остаются практически на прежнем уровне из-за незначительного общего снижения потребления ЭЭ подземными предприятиями Украины.

Анализ предыдущих исследований. До 10% общего объема энергопотребления подземными горными предприятиями Украины ложится на электровозную откатку. В то же время, международный стандарт «Методы определения норм расходов электроэнергии горными предприятиями» (ГОСТ 30356-96) регламентирует этот показатель в структуре электропотребления шахт на уровне 5,6%. Т.о., реальный и рекомендованный показатель отличаются почти в 2 раза, что, влияя на структуру электробаланса горных предприятий, одновременно формирует нежелательно низкие показатели энергоэффективности угледобычи, а значит, является признаком высокой стоимости и низкой конкурентоспособности отечественного угля.

Подкрепим этот факт дополнительно тем, что если в прошлом (до 1992 года) доля электроэнергетических затрат в общей себестоимости угля составляла 4-5%, то сейчас эта цифра в среднем по отрасли выросла в 4-5 раз, а для некоторых угледобывающих компаний – до 50%, т.е. в 10 раз.

Выпускаемые серийные рудничные электровозы оснащены тяговыми электроприводами постоянного тока с контакторно-резисторной системой управления и двигателями постоянного тока с последовательным возбуждением. Данный вид ТЭП является неэффективным, неэкономичным и обладает низким уровнем надежности [2].

При росте грузооборота и неизбежном «старении» подвижного состава затраты на его ремонт и содержание будут увеличиваться.

Т.о., назрела необходимость замены существующих ТЭП на современные – с импульсными системами управления уровнем напряжения питания тяговых двигателей.

Реальную практическую реализуемость эта идея обрела в последние десятилетия, когда были разработаны и доведены до массового выпуска современные полупроводниковые приборы (тиристоры, транзисторы) специально предназначенные для условий работы электрифицированных видов транспорта.

Вместе с тем, создание системы управления (СУ) с достаточным уровнем функциональных возможностей невозможно без комплексной оценки влияния различных параметров электромеханического комплекса на режимы работы электровоза в целом.

Цель работы. Анализ уровня влияния конструктивных, технологических и эксплуатационных параметров на токораспределение в цепях тяговых двигателей рудничных контактных электровозов.

Материалы и результаты исследований. Известные исследования [3], создав научный

потенциал в данном направлении, позволили подойти к вопросу оценки конкретного влияния комплекса на распределение токов в цепях тяговых двигателей рудничных контактных электровозов.

Анализируя режим работы ТЭП рудничных электровозов, как впрочем, любого другого вида электрифицированного транспорта, необходимо, в отличие от многих других его видов, учитывать тот факт, что в данном случае ТЭП – это многодвигательный вид электропривода с постоянно изменяющейся архитектурой параллельно-последовательного соединения тяговых двигателей. Безусловно, что в данном случае для полноценного функционирования всего комплекса необходимо максимально возможное согласование электромеханических характеристик и параметров всех тяговых электродвигателей (ТЭД), работающих в комплекте электропривода. При невыполнении данного условия уже априорно, но твердо можно утверждать о факте нарушения пропорциональности распределения токов в цепях ТЭД [2], что неминуемо приведет к нарушению режимов функционирования, перегрузке отдельных элементов, ухудшению тяговых свойств электровоза, снижению до опасного уровня надежности всего электрооборудования.

Исследования подтверждают что возникновению псевдо- и аварийных режимов 88-93% ТЭД рудничных электровозов имеют отклонения электромеханических характеристик и параметров от паспортных.

Госстандарт регламентирует граничные отклонения параметров ТЭД для различных режимов работы. Так, допуск на частоту вращения якоря при $P_{ном}$ составляет 4%.

В практике эксплуатации ТЭП рудничных электровозов, как ни на одном другом виде электрифицированного транспорта, в основном наблюдаются отклонения значительно большее регламентируемых.

Очевидно, с целью устранения такого положения, изучению процесса токораспределения в многодвигательных электроприводах электрифицированного транспорта посвящено значительное по объему количество исследований [2].

Более того, разработаны и эксплуатируются слагаемые систем управления ТЭП, для «выравнивания» нагрузок ТЭД [2].

К сожалению, как правило, эти подсистемы имеют высокую удельную стоимость при недостаточной эффективности и уровне адаптации к постоянно изменяемым условиям в режимах функционирования ТЭП, что для таких же условий рудничных электровозов практически неприемлемо. Это подчеркивает необходимость и обязательность дополнительных исследований с целью выработки рекомендаций и предложений по устранению данного момента на основе выработки «силовой

части» ТЭП с возможностью соответствующего адаптивного управления с помощью СУ.

Для оценки фактического состояния проблемы в исследуемом направлении, авторами проанализированы результаты ряда исследований в данном направлении, а также проведен комплекс дополнительных исследований.

При этом учитывалось, что разница в токораспределении между ТЭД, является следствием «разброса» их параметров во время эксплуатации и возможна в силу постоянно присутствующих изменениях нагрузок колесных пар в функции различных влияющих факторов, таких как:

- несоответствие или отклонение скоростных характеристик пар ТЭД, работающих в последовательно-параллельном режиме ТЭП;
- разница диаметров бандажей колесных пар;
- «разброс» сопротивления обмоток ТЭД;
- неравномерность распределения нагрузки между колесными парами.

Последнее из вышеотмеченных обстоятельств объясняется рис. 1.

Как видно из рис. 1, при отсутствии балансирования колесных пар и передачи продольных сил от электровоза на кузов вагона через сцепку, возникает момент, пропорциональный высоте сцепки над головкой рельса:

$$M = n \cdot F_k \cdot h_{ш} \quad (1)$$

где n – количество колесных пар;

F_k – сила тяги одной колесной пары;

$h_{ш}$ – высота расположения сцепки над головкой рельса.

Вследствие этого передние оси электровоза будут разгружаться, а задние оси догружаться.

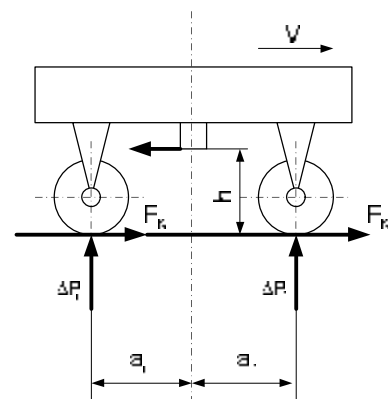


Рисунок 1 – Распределение нагрузок при отсутствии балансирования колесных пар

Реальной возможностью для устранения или уменьшения этого момента является предложение избавиться от статической неопределенности путем уменьшения числа точек опоры.

Но это направление должно решаться конструкторами–механиками подвижного состава.

Поэтому остановимся на анализе первых двух вышеотмеченных факторов.

На рис. 2–3 представлены результаты статистической обработки частот вращения ТЭД электровозного парка Криворожского железорудного комбината (г. Кривой Рог).

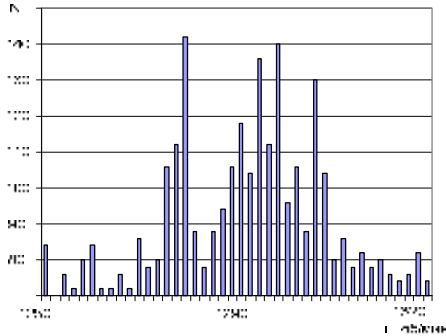


Рисунок 2 – Распределение тяговых электрических двигателей по частотам вращения при их «прямом» вращении

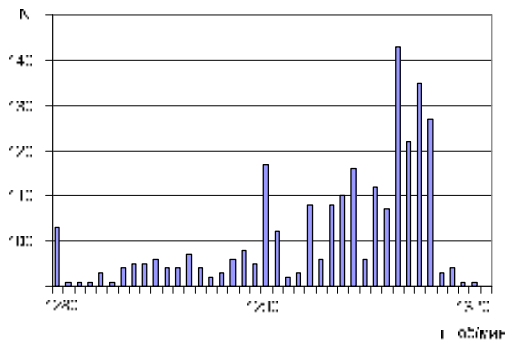


Рисунок 3 – Распределение тяговых электрических двигателей по частотам вращения при их «обратном» вращении

Как следует из рис. 2–3 частоты вращений ТЭД, призванных работать в комплекте ТЭП на общую нагрузку, имеют отклонения.

Более того, как показали исследования частоты вращения ТЭД в эксплуатационных режимах, в 18–22% она превышает W_n на 15–25%.

На рис. 4–5 представлены результаты наблюдений за отклонениями скоростных характеристик отдельных электровозов.

Так как на неравномерность токораспределения в ТЭД влияет расхождение диаметров бандажей колесных пар в пределах электровоза, то необходимо получить статистические данные о максимальной разности диаметров бандажей ΔD для одного электровоза. В результате получен ряд данных (рис. 6) отклонения диаметров колес колесных пар от новых. На основании обработки отобранного материала получено, что среднее значение разности диаметров колес $DD = 3,9$ мм.

Для проведения исследования токораспределения в ТЭД проводились исследования при часовом режиме работы электровоза.

Из рис. 7–8 видно, что ТЭД подвержены неравномерному токораспределению.

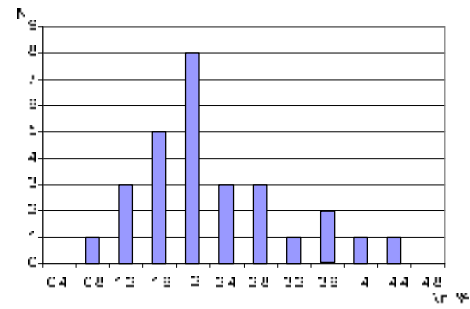


Рисунок 4 – Распределение отклонений разности скоростных характеристик электровоза при правом вращении тяговых электрических двигателей

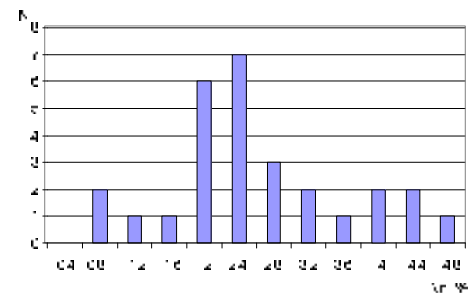


Рисунок 5 – Распределение отклонений разности скоростных характеристик электровоза при левом вращении тяговых электрических двигателей

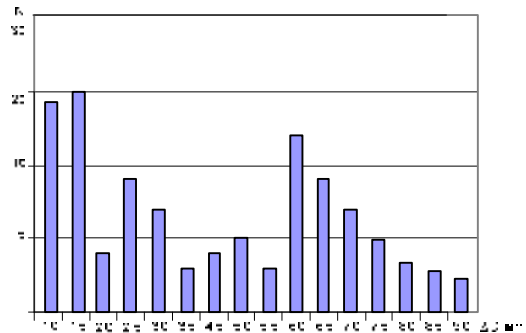


Рисунок 6 – Распределение колесных пар электровозов по разности диаметров бандажей

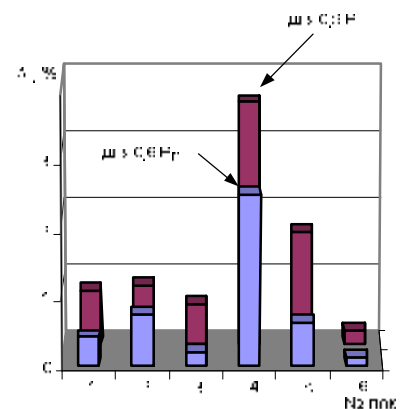


Рисунок 7 – Распределение отклонений токов в ветвях тягового электропривода в режиме тяги при параллельном соединении тяговых электрических двигателей

Распределение токов при параллельно-последовательном соединении с изменением скорости для нескольких испытуемых электровозов представлены на рис. 8–9. Здесь 1 и 2 – соответственно токи в первой и второй ветвях.

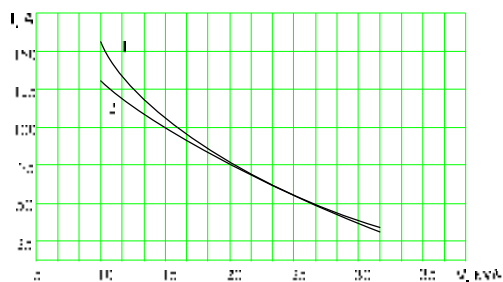


Рисунок 8 – Зависимость токов нагрузки от скорости движения при параллельном соединении тяговых двигателей ДТН-45

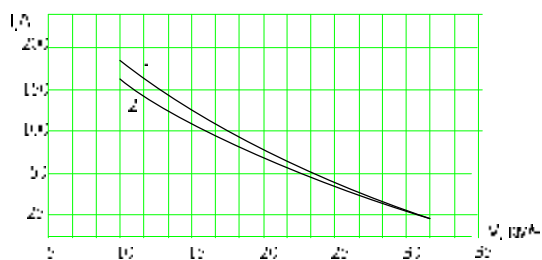


Рисунок 9 – Зависимость токов нагрузки от скорости движения при параллельном соединении тяговых двигателей ДТН 45/27

Анализ распределения токов в параллельных ветвях ТЭД также подтвердил «разброс токораспределения».

Как видно из приведенных графиков, отклонение токов влияет на силу тяги локомотива, а именно оказывает воздействие на ее снижение.

Выводы. По результатам анализа можно констатировать, что токораспределение в параллель-

ных ветвях ТЭП носит случайный характер с тенденцией увеличения разности токов при росте нагрузок в зависимости от скорости движения.

При этом наиболее влияющим на токораспределение ТЭД фактором является разница характеристик последних, в результате чего разница токов может достигать 17% от номинальных значений.

Изменение активного сопротивления R медных проводников обмоток ТЭД вызывает разницу в 1,5%, разница диаметров бандажей колес составляет до 8,3 %.

Установлено также, что в результате влияния конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов, максимальная неравномерность токораспределения имеет место в статических режимах и может достигать 32% от тока, потребляемого ТЭД.

ЛИТЕРАТУРА

1. Азарян А.А., Вілкул Ю.Г., Капленко Ю.П., Караманиць Ф.І та ін. Комплекс ресурсо- і енергозберігаючих геотехнологій видобутку та переробки інеральної сировини, технічних засобів їх моніторингу із системою управління і оптимізації гірничорудних виробництв. – Кривий Ріг: Мінерал, 2006. – 219 с.

2. Синчук О.Н., Юрченко Н.Н., Чернышев А.А., Синчук И.О., Удовенко О.А., Пасько О.В., Гузов Э.С. Комбинаторика преобразователей напряжения современных тяговых электроприводов рудничных электровозов. // Под редакцией доктора технических наук О.Н. Синчука. Научное издание НАН Украины. Институт электродинамики. К.: 2006. – 250 с.

3. Черный А.П., Полищук П.И., Воробейчик О.С. Анализ динамических характеристик частотно-регулируемого электропривода с фильтром на выходе инвертора // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Вип. 2/2007 (2).

Стаття надійшла 01.11.2008 р.
Рекомендовано до друку к.т.н., доц.
Сергієнком С.А.