УДК 622.612

В.Н.КОРДАКОВ, А.А.КОРЖЕВ
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРИВОДА РУДНИЧНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА

Показаны состояние рудничного электровозного транспорта и основные направления совершенствования привода рудничных электровозов. Указана целесообразность внесения в методику тягового расчета нового ограничения массы поезда по условию разгона привода электровоза. Приведен критерий управления приводом электровоза при трогании собранного поезда с места, реализация которого позволяет увеличить срок службы сцепных устройств вагонеток. Рассмотрена возможность повышения тяговых свойств рудничных электровозов за счет применения комбинированного привода. Показана эффективность использования на рудничных электровозах тяговых двигателей со смешанным возбуждением.

The existing state of mining electric locomotive transport is represented and the basic directions of perfection of a drive of miner electric locomotives are shown. The expediency of entering in a technique of traction computation of account of a new condition – limitation of weight of a train on a condition of acceleration of a drive of an electric locomotive is specified. The optimum law of change effort an electric locomotive is certain, which realization allows to increase service life of cluch devices of cars. The opportunity of increasing properties of miner electric locomotives is considered at the expense of application of a combined drive. The efficiency of use on miner electric locomotives traction of engines with the mixed excitation is shown.

На горных предприятиях рудничный электровозный транспорт занимает доминирующее место. Срок службы электромеханического оборудования (тяговые двигатели, бандажи колес электровоза, сцепные устройства вагонеток и т.д.) ниже нормируемых значений. Это определяет необходимость совершенствования привода электровоза и тягового расчета рудничного электровозного транспорта.

Метод тягового расчета рудничного электровозного транспорта, предложенный Ф.Н.Шклярским в 1933 г., является в настоящее время основным при определении прицепной массы поезда для выбранного типа электровоза [1]. При выборе массы по условию трогания поезда с места позже было предложено принимать ускорение разгона 0,03-0,05 м/с^2. Расчеты показывают, что при равноускоренном разгоне с ускорением 0,05 м/с^2 и реализации электровозом максимальной силы тяги за период 10 с поезд пройдет 2,5 м, за период 20 с – 10 м. Это не соответствует действительности и определяет необходимость работы привода при реализации силы тяги в зоне комбинированного скольжения. Поэтому уже на стадии проектирования закладывается пробуксовка колес электровоза.

В работе [2] показано, что в методику тягового расчета рудничного электровозного транспорта необходимо внести новое условие – определение массы поезда при разгоне привода электровоза. При этом учитываются конструктивные особенности системы управления привода. Для существующей системы ступенчатого изменения силы тяги электровоза при разгоне это условие является определяющим при выборе массы поезда.

Существует методический подход к определению массы поезда по организационно-технологическим условиям [1]. За критерий выбора массы поезда принимается равенст-

во периода погрузки (разгрузки) поезда интервалу времени между поездами или минимизация затрат на подвижной состав и его эксплуатацию. На горно-обогатительных (металлургических) предприятиях электровозный транспорт является одним из элементов системы усреднения показателей качества горной массы. При этом обоснованное определение массы поезда и алгоритма реализации маршрутов следования поездов позволяют повысить извлечение полезных компонентов в конечной продукции предприятия. Для вычисленной массы поезда выбирается ближайший больший по сцепной массе тип электровоза, который имеет повышенные возможности по реализации ускорения. Определяется оптимальное ускорение разгона поезда, тип системы управления, ее параметры, обеспечивающие минимизацию времени рейса поездов и их количество на откаточном горизонте.

При пуске поезда важным этапом является трогание собранного состава вагонеток с места. Этот этап характеризуется значительными динамическими усилиями, возникающими в сцепных устройствах вагонеток, что снижает их срок службы. Одним из путей повышения срока службы сцепных устройств является формирование оптимального закона изменения тягового усилия электровоза [1]. С учетом циклического характера нагружения за период рейса поезда установлено, что эквивалентные усилия, возникающие в сцепных устройствах, должны удовлетворять условию

$$F_{i-1} = F_i = F_{i+1} \le F_{\text{доп}}, \qquad (1)$$

где F_{i-1}, F_i, F_{i+1} – эквивалентные усилия в $i-1$, i, $i+1$ вагонетках поезда, Н; $F_{\text{доп}}$ – допустимое усилие, удовлетворяющее условию обеспечения назначенного срока службы сцепного устройства и технологии погрузочного-разгрузочных работ, Н.

Реализация оптимального закона изменения тягового усилия электровоза осуществляется с помощью оптимального управления регулирующим приводом, осуществляемого известными способами.

На горных предприятиях состояние головок рельс определяется внешними факторами, их месторасположением на откаточном горизонте и износом. Поэтому коэффициент сцепления колес электровоза с рельсами изменяется в широких пределах. Его расчетное значение для рельс, покрытых угольной пылью, равно 0,07, а рудной – 0,17. В реальных условиях среднеквадратичное отклонение коэффициента сцепления составляет 0,015-0,02, а максимальное его значение достигает 0,6-0,7. При проектировании рудничного электровоза, в том числе его привода, за расчетный коэффициент сцепления принимается 0,4. Это необходимо учитывать при разработке новых систем привода рудничных электровозов.

Существуют горные предприятия, в которых откаточные выработки пройдены по границе залегания рудного тела. Выработки, соединяющие станции метрополитена, имеют переменный уклон. Величины уклонов в представленных случаях достигают величины ±12 ‰ и более. Ограничивается вместимость поезда и производительность смежных технологических звеньев по проходке горных выработок. Это определяет целесообразность увеличения тяговых свойств рудничных электровозов. Одним из путей увеличения тяговых свойств является применение комбинированного привода, в котором ведущим является существующий, а ведомым – линейный привод, который состоит из преобразователя частоты, линейного тягового двигателя и блока согласования. Этот блок обеспечивает рациональное использование возможностей ведущего привода и учитывает необходимость обеспечения ритмичности движения поездов.

При работе основного привода в зоне избыточного буксования его сила тяги уменьшается вследствие развития пробуксовки, что автоматически приводит к перераспределению нагрузок между основным и дополнительным движителями. Уравнения движения основного и дополнительного привода с учетом наличия дополнительной силы тяги $F_{\text{д}}$ и пробуксовки колес электровоза с рельсами имеют вид

$$\begin{cases} M_{\text{вр}} \dfrac{d}{dt} V_{\text{ск}} = F_{\text{о}} - gPA_2 + gPB_2 V_{\text{ск}}; \\ \dfrac{F_{\text{д}}}{F_{\text{д}} + F_{\text{о}}} M_{\text{пр}} \dfrac{d}{dt} V_{\text{п}} = F_{\text{д}}^{\text{дин}} - \dfrac{F_{\text{д}}}{F_{\text{д}} + F_{\text{о}}} \Sigma W; \\ \dfrac{F_{\text{о}}}{F_{\text{д}} + F_{\text{о}}} M_{\text{пр}} \dfrac{d}{dt} V_{\text{п}} = F_{\text{о}}^{\text{дин}} - \dfrac{F_{\text{о}}}{F_{\text{д}} + F_{\text{о}}} \Sigma W, \end{cases} \quad (2)$$

где $M_{\text{вр}}$, $M_{\text{пр}}$, – приведенная масса вращающихся частей и поезда, соответственно, кг; $F_{\text{о}}$, $F_{\text{д}}$, $\Sigma W_{\text{о}}$ – соответственно, силы тяги основного и дополнительного приводов, сопротивление движению поезда, Н; $V_{\text{п}}$, $V_{\text{ск}}$ – скорости поезда и проскальзывания колес электровоза, м/с; A_2, B_2 – коэффициенты, значение которых зависит от условий сцепления колес электровоза с рельсами и определено в работе [4]; $g = 9{,}8$ м/с^2 – ускорение свободного падения.

Анализ представленной системы уравнений (2) показал, что при возникновении пробуксовки колес электровоза соотношение нагрузок дополнительного и основного приводов изменяется, увеличиваясь с нарастанием скорости буксования колес электровоза. Одним из условий, ограничивающих отклонение скорости поезда от заданного значения, является обеспечение работы автоматизированной системы исключения столкновений поездов (АСИС). В работе [3] показано, что максимальное отклонение скорости движения поезда от заданного, согласно расчетной диаграмме скоростей, не должно превышать ±15 %. Исходя из данного условия, можно определить необходимую величину увеличения силы тяги дополнительного привода. Время работы дополнительного привода в таком режиме должно быть ограничено по условию допустимого нагрева линейного электродвигателя, что достигается введением соответствующей задержанной обратной связи по эффективному току дополнительного привода.

Для оценки времени работы дополнительного привода в режиме ограничения пробуксовки колес электровоза и определения рациональных параметров задержанной обратной связи была создана имитационная модель рудничного электровоза с комбинированным приводом в приложении Simulink программы Matlab 5R12. В результате исследования поведения имитационной модели при различных значениях тока отсечки указанной ранее задержанной обратной связи установлено, что рациональное значение тока отсечки задержанной обратной связи по эффективному току дополнительного привода, соответствующее максимальному времени его работы при допустимой величине отклонения скорости поезда от его заданного значения, находится в пределах 0,75-0,85 от максимального длительного тока тягового линейного электродвигателя. При этом время работы дополнительного привода в этом режиме определяется главным образом инерционностью поезда, возрастает с ее увеличением и находится в пределах 60-240 с.

На ритмичность движения поездов существенное влияние оказывает жесткость электромеханической характеристики привода электровоза. Оборудование транспортных горизонтов светофорной сигнализацией, автоматической системой исключения столкновений поездов накладывает ограничения на статизм электромеханической характеристики тяговых двигателей. Существующие тяговые двигатели имеют мягкую электромеханическую характеристику. Для стабилизации и ограничения скорости поезда применяется повторно-кратковременный режим включения тяговых двигателей, который осуществляется машинистом субъективно и снижает технико-экономические показатели электровозного транспорта.

Одним из эффективных путей стабилизации скорости привода электровоза является применение тяговых двигателей постоянного тока со смешанным возбуждением, которые имеют более жесткую электромеханическую характеристику в сравнении с существующей. Их использование позволяет устранить разносную пробуксовку колес, повышает реализуемую силу тяги электровоза и уровень безопасности на рудничном

электровозном транспорте. Теоретическими и экспериментальными исследованиями установлено, что оптимальное значение коэффициента компаундирования существующих тяговых двигателей достигается заменой последовательных обмоток возбуждения на смешанные и равно 0,4. Внедрение этих двигателей на электровозах в условиях Тырныаузского и Альметьевского горно-металлургических комбинатов показало, что срок службы тяговых двигателей увеличился в пять раз, снизился в два раза износ бандажей колес электровоза, повысился уровень безопасности на транспорте.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кордаков В.Н.* Определение закона управления рудничным электровозом при трогании поезда с места // Изв. вузов. Горный журнал. 1980. № 1.

2. *Кордаков В.Н.* Тяговый расчет рудничного электровозного транспорта / ЛГИ. Л., 1982. 18 с.; Деп. в ЦНИИЭуголь 02.08.82. № 2461.

3. *Кордаков В.Н.* Автоматизированные системы исключения столкновения поездов на рудничном электровозном транспорте / В.Н.Кордаков, О.Б.Лакота // Изв. вузов. Горный журнал.1992. № 10.

4. *Ренгевич А.А.* Коэффициент сцепления шахтных электровозов. Вопросы рудничного транспорта. М.: Госгортехиздат, 1961.

5. *Шклярский Ф.Н.* Расчет рудничной электровозной откатки. Ленинград-Москва-Новосибирск: НКТП-ОНТИ, 1933.