

чірного максимумів навантаження енергосистеми. В умовах шахт як споживачів-регуляторів найбільш ефективно використовувати водовідливні установки, які повинні працювати головним чином в години мінімальної ціни електроенергії - в нічні години. Ємності водозбірників зазвичай мають достатній запас, при необхідності вони можуть бути збільшені.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Залишається актуальним питання компенсації реактивної потужності для підвищення ефективності систем електропостачання. Розглянуто особливості компенсації реактивної потужності в умовах залізрудних комбінатів з використанням синхронних машин з урахуванням їх режимів роботи і додаткових втрат енергії, обумовлених генерацією реактивної потужності.

Силові трансформатори на головних підстанціях залізрудних комбінатів мають низький коефіцієнт завантаження (20-40%) в силу чого працюють в неекономічних режимах. Визначено, що висновок в «холодний» резерв одного з трансформаторів економічно доцільний при результуючому коефіцієнті завантаження менше 0,6.

Серед підземних споживачів найбільш складним і енергоємним електротехнічним комплексом є електровозний транспорт, який має низьку ефективність енерговикористання. Застосування реостатних систем управління призводить до того, що 30-40% електроенергії марно втрачається в регулювальних реостатах тягових електротехнічних комплексів електровозів. Сучасний розвиток промислової електроніки дозволяє значно поліпшити технічні характеристики електровозів і в 1,5 рази скоротити витрату електроенергії.

Вищенаведені рекомендації при їх реалізації дозволять кожній конкретній залізрудній шахті підвищити енергоефективність видобутку залізної руди на 20-30 %.

Список літератури

1. Сборник технико-экономических показателей горнодобывающих предприятий Украины в 2009–2010 гг. Анализ мировой конъюнктуры рынка ЖРС 2004–2011 гг. / **Е.К. Бабец, Л.А. Штанько, В.А. Салганик** и др. – Кривой Рог: Видавничий дім, 2011 – 329 с.
2. **Синчук И.О.** Потенциал электроэнергоэффективности и пути его реализации на производствах с подземными способами добычи железорудного сырья. Монография / **И.О. Синчук, Э.С. Гузов, А.Н. Яловая, С.Н. Бойко** // Под ред. докт. техн. наук, проф. **О.Н. Синчука**. – Кременчук: Изд. ЧП Щербатых А.В. – 2015. – 296 с.
3. Електрифікація гірничого виробництва: Підручник для ВНЗ. – Вид. 2-ге, перероб. та допов. / За ред. **Л.О. Пучкова** і **Г.Г. Півняка**. – Д.: Нац. гірн. ун-т, 2010. – Т.1. – 503 с.
4. **Синчук О.Н.** Оценка состояния и определения тактики повышения эффективности работы участковых подстанций железорудных шахт [Текст] / **О.Н. Синчук, Р.А. Лесной, Р.А. Пархоменко, А.Н. Яловая** // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Збірник наукових праць кіровоградського національного технічного університету. – Кіровоград, 2012. - Випуск 25, частина II. – С.248 – 254.
5. **Синчук О.Н.** Оценка потенциала и тактика повышения электроэнергоэффективности подземных железорудных производств [Текст] / **Синчук О.Н., Синчук И.О., Гузов Э.С., Баулина М.А., Яловая А.Н.** // Технологический аудит и резервы производства. – Харьков: ЧП «Технологический центр». – 2014. – с.34 – 39.
6. **Праховник А.В.** Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий [Текст] / **А.В. Праховник, В.П. Розен, В.В. Дегтярев** – М.: Недра, 1985 - 232 с.

Рукопис подано до редакції 18.04.16

УДК 629.423.2-52

И.О. СИНЧУК, канд. техн. наук, доц., **А.С. САМОХИНА**, магистрант
Криворожский национальный университет

ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ПРИВОДА В ЭЛЕКТРОВОЗАХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТЯГОВЫХ СВОЙСТВ

В настоящее время электровозный транспорт является наиболее распространенным видом транспорта на горных предприятиях. Так на шахтах с его помощью осуществляется до 70% перевозок, а на рудниках до 100%. Столь широкое распространение электровозного транспорта обусловлено тем, что последний наиболее экономичен при больших длинах транспортировки более чем другие виды рудничного транспорта [1]. Электровозы могут применяться при различных условиях эксплуатации, в том числе на шахтах опасных по газу и пыли. Данный вид транспорта отличается сравнительно малой энергоемкостью, хорошей приспособляемостью к автоматизации, практиче-

ски отсутствует вредное влияние на окружающую природную среду. Для электровозного транспорта характерны также относительные мобильность и надежность, обусловленная тем, что неисправность одного локомотива не ведет к существенному снижению производительности транспортной системы, в отличие, например, от конвейерного транспорта. Имеется возможность использования электровозного транспорта в качестве средства усреднения горной массы [2].

Ключевые слова: автоматизация, электровоз, привод, комбинированный, мощность

Проблемы та их связь с научными и практическими заданиями. Преимущества электровозного транспорта способствовали чрезвычайно широкому его распространению как в качестве основного (используемого непосредственно для транспортирования горной массы), так и в качестве вспомогательного (используемого для доставки людей и оборудования) на горных предприятиях при открытой и подземной разработке месторождений. Экономичность, надежность и безопасность функционирования электровозного транспорта в значительной мере сказывается на эффективности работы всего горного предприятия в целом, следовательно, совершенствование электромеханического оборудования, тяговой сети, систем диспетчерского управления, средств автоматизации является актуальным.

Несмотря на ряд достоинств, электровозный транспорта, в его существующем состоянии, характеризуется рядом неблагоприятных явлений, а именно:

Электромеханическое оборудование часто выходит из строя и срок службы его ниже нормативного [2], в частности:

срок службы тяговых двигателей с в среднем составляет (4-5) мес. при гарантийном сроке службы 6 лет [3];

бандажи колес электровозов истираются за 0,5 года вместо положенных 3 лет;

контакты прямого действия служат 1 год, вместо положенных 5 лет;

сцепные устройства на предприятиях горнорудной промышленности служат не более 0,5 года.

Реальное количество поездов на откаточном горизонте в 1,5-2 раза превышает расчетное, загрузка транспортных ветвей не равномерна и подвижной состав используется не оптимально [3].

Существующие методы расчета контактной сети несовершенны, в связи с чем, часто вместо положенного по ПБ одностороннего питания на горных предприятиях применяется двухстороннее питание контактной сети.

Уровень травматизма достаточно высок, на электровозный транспорт приходится примерно 40 % от общего числа несчастных случаев на горном предприятии [4].

Токи при пуске значительно превышают расчетные [5].

Наблюдается пробуксовка колес электровозов, когда разница угловой скорости колес электровоза приведенной к ободу колеса и скорости поезда составляю до 40 % при пуске и до 5 % при установившемся движении [6].

Указанные факторы приводят к увеличению эксплуатационных затрат, снижают надежность и безопасность работы электровозного транспорта.

Анализ исследований и публикаций. В результате анализа имеющегося опыта использования линейных двигателей на транспорте, можно сделать вывод, что использование линейного привода в качестве основного и единственного привода транспортных средств с относительно низкой скоростью движения (к которым относятся в том числе и рудничные электровозы) не целесообразно, особенно при больших длинах транспортировки и относительно большой величины воздушного зазора между индуктором и реактивным элементом.

Постановка задания. Таким образом, представляется разумным использование комбинированной системы привода рудничных электровозов состоящей из основного привода традиционной конструкции и работающего в длительном режиме и дополнительного привода от ЛД, работающего в импульсном режиме, включаясь при снижении тяговых свойств основного привода и отключающегося при их восстановлении. Такая система обладает достоинствами обоих типов привода, используя их в наиболее рациональном режиме. К достоинствам комбинированного привода можно отнести:

меньшая зависимость силы тяги электровоза от уклонов пути и колебаний коэффициента сцепления, чем у традиционных электровозов;

принципиальная возможность использования ЛД в качестве антипробуксовочного или тормозного устройства;

так как ЛД работает в импульсном режиме, то его низкие энергетические показатели и проблемы охлаждения выражены в меньшей степени чем при длительном режиме;

в ряде работ [7] показана эффективность именно импульсного режима работы ЛАД;

возможно использование ЛД относительно малой мощности, при этом можно использовать в качестве вторичного элемента существующие рельсы (при установке ЛД на экипаже) или относительно дешевый вторичный элемент из ферромагнитного материала;

вторичный элемент (или индукторы при их стационарной установке) могут быть установлены не на всей длине пути, а только на отдельных участках (в местах погрузки/ разгрузки, на участках с большим уклоном пути, на поворотах и т.д.), что приводит уменьшению капитальные затрат по сравнению с только линейным приводом;

имеется возможность использования ЛД для модернизации существующего парка электро-возов без существенных изменений в путевой структуре.

Изложение материала и результатов. Функциональная схема автоматизированного комбинированного привода рудничного электровоза имеет вид, представленный на рис. 1.

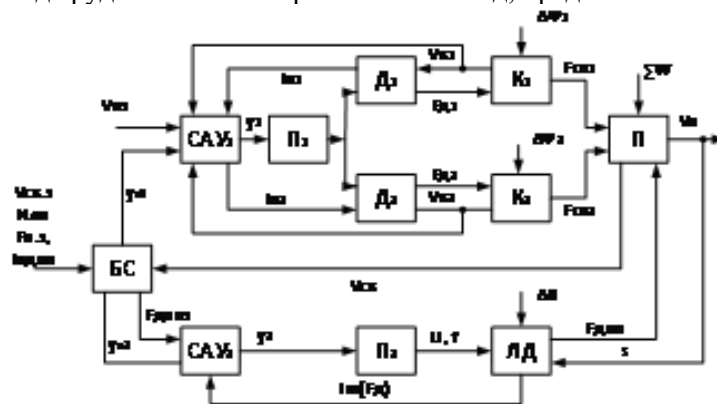


Рис.1. Функциональная схема автоматизированного комбинированного привода рудничного электровоза

Схема включает в себя:

основной привод, включающий в себя: колесные пары K_1 и K_2 , тяговые двигатели постоянного тока D_1 и D_2 , преобразователь сигналов управления в изменение напряжения или сопротивления якорной цепи тяговых двигателей (в различных существующих системах используются: контроллер или широтноимпульсный преобразователь на электровозе, тиристорный преобразователь на тяговой подстанции) - P_1 и систему автоматического управления САУ₁;

дополнительный привод, включающий в себя: линейный электродвигатель ЛД, автономный инвертор P_2 и систему управления САУ₂;

рудничный поезд П, являющийся общей нагрузкой приводов;

блок согласования БС.

Задающим воздействием является сигнал задания скорости поезда $V_{из}$, возмущающими сигналами - ΣW , $\Delta\psi_1$, $\Delta\psi_2$, $\Delta\delta$, соответственно, сопротивление движению поезда, изменение коэффициента сцепления колесных пар K_1 и K_2 , изменение воздушного зазора между индуктором ЛД и вторичным телом (третьим рельсом).

Система управления основным приводом формирует сигнал управления y_1 в функции сигналов тока тяговых двигателей I_{a1} , I_{a2} и скоростей колесных пар V_{k1} , V_{k2} (получаемых с соответствующих датчиков), при этом работа системы управления аналогична работе соответствующей системы в существующем приводе [8]. Сигнал y_1 преобразуется в соответствующее изменение напряжения питания U_a или сопротивления R_a якорной цепи тяговых двигателей, что приводит к изменению сил тяги тяговых двигателей $F_{\partial 1}$ и $F_{\partial 2}$, приложенных к колесным парам, что приводит к изменению сил сцепления $F_{сц1}$ и $F_{сц2}$, приводящим в движение поезд.

Система управления САУ₂ реализует систему прямого управления силой тяги ЛД (система строится аналогично системам прямого управления моментом в обычных асинхронных двигателях [5]), формируя управляющие воздействия y_2 на автономный инвертор, таким образом, чтобы величина дополнительной силы тяги $F_{дон}$ стремилась к заданной величине $F_{донз}$ при пе-

ременной величине скорости поезда V_n и, соответственно, при переменной величине скольжения s . Кроме того, система управления ЛД обеспечивает защиту ЛД от перегрузки, отключает его при превышении его эффективным током I_m допустимого значения.

Таким образом, блок согласования БС обеспечивает включение ЛД и формирование сигнала задания скорости $F_{допз}$ в функции сигналов датчиков тока тяговых двигателей основного привода I_{a1} и I_{a2} , датчика скорости поезда V_n и датчиков скоростей колесных пар V_{k1} и V_{k2} .

Условием включения дополнительного привода в работу является наличие устойчивого буксования колес электровоза, так как в противном случае возможно включение привода при случайных колебаниях скоростей проскальзывания и эффективных токов тяговых двигателей. Устойчивым считается буксование, при котором либо скорость поезда уменьшается более чем на 15% ниже заданного значения, либо эффективный ток одного из тяговых двигателей превышает допустимое согласно паспортных данных двигателей значение.

Структурная схема системы комбинированного привода, построенная в соответствии с функциональной представлена на рис. 2.

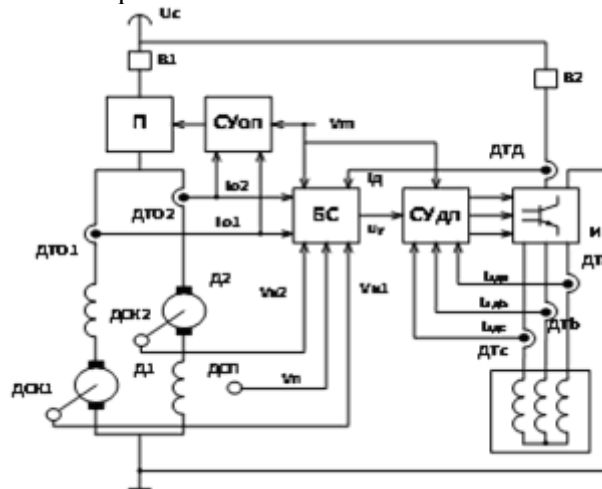


Рис.2. Структурная схема комбинированного привода рудничного электровоза

Она включает в себя основной и дополнительный привода а также блок согласования их работы БС.

В состав основного привода входят: выключатель B_1 ; преобразователь $П$, в качестве которого могут быть использованы либо реостатная система управления, либо тиристорный широтно-импульсный регулятор напряжения, устанавливаемый непосредственно на электровозе; тяговые двигатели постоянного тока с последовательным возбуждением $Д_1$, $Д_2$, в цепь которых включены датчики тока $ДТО_1$ и $ДТО_2$; датчики скорости колесных пар $ДСК_1$, $ДСК_2$ и датчик скорости поезда $ДСП$; система управления основным приводом $СУ_{он}$. В состав дополнительного привода входит трехфазный линейный электродвигатель $ЛД$; инвертор тока $И$; датчики тока фаз $ДТ_a$, $ДТ_b$, $ДТ_c$, необходимые для реализации в инверторе источника тока; систему управления дополнительным приводом $СУ_{доп}$, выключатель B_2 ; датчик потребляемого дополнительным приводом тока $ДТД$.

Блок согласования формирует управляющее воздействие на систему управления дополнительным приводом, обеспечивая изменение его силы тяги в зависимости от тока основного привода, скорости буксования колес электровоза. В блоке согласования также производится учет воздействия внешних возмущающих факторов, к которым относятся: отклонение фактической массы груза поезда и среднего значения коэффициента сцепления от их расчетных значений, изменение сопротивления движению поезда низкоскоростные двигатели с ферромагнитными и составными роторами нашли свое применение на конвейерных поездах и на городском монорельсовом транспорте [9].

В работе [10] результаты исследования линейных двигателей одностороннего и двустороннего исполнения с различными вторичными телами. В результате исследований установлено, что для тихоходных линейных асинхронных электродвигателей с шихтованным индуктором наилучшие энергетические показатели обеспечиваются при использовании составных ферромагнитных вторичных элементов с толщиной накладки из проводящего материала (алюми-

ний, медь) не более (1,5-3) мм, дальнейшее увеличение проводящего слоя не дает существенно-го прироста энергетических показателей, однако требует существенно увеличивает стоимость привода.

Зависимость силы тяги индуктора от величины воздушного зазора для низкоскоростных ЛД с ферромагнитным и составным вторичным телом имеет экспоненциальный характер [10], при этом для получения приемлемых значений энергетических показателей величина воздушного зазора должна находиться в пределах 0,5-20 мм.

Выводы и направление последующих исследований. Предложено построение системы комбинированного привода рудничного электровоза и его системы управления на основе иерархического принципа подчиненного управления силой тяги дополнительного привода в функции нагрузки основного, при этом основной привод является ведомым, а дополнительный - ведущим.

Учитывая имеющиеся отличия электромеханических характеристик основного и дополнительного приводов для обеспечения их эффективной совместной работы используется блок согласования, формирующий управляющее воздействие на дополнительный привод в зависимости от сигналов обратных связей по току приводов, скорости поезда и скорости пробуксовки.

Разработана функциональная схема, реализующая указанный принцип управления и соответствующая ей структурная схема автоматизированного комбинированного привода рудничного электровоза, включающая в себя: основной привод традиционной конструкции; дополнительный привод на основе ЛД, получающий питание от низкочастотного автономного инвертора с частотно-токовым управлением; блок согласования, формирующий управляющее воздействие на систему управления дополнительным приводом, обеспечивая прямое управление силой тяги ЛД, при этом критерием управления является поддержание рационального соотношения сил тяги приводов.

В дальнейшем получить выражение для оптимального, по условию максимума экономической эффективности, увеличения массы поезда за счет применения комбинированного привода, позволяющее определить рациональную величину соотношения часовых сил тяги дополнительного и основного приводов.

Разработать методику и алгоритм расчета рациональных параметров дополнительного привода, учитывая реальные условия работы приводов на каждом из участков диаграммы движения, учитывая имеющиеся ограничения основного и дополнительного приводов по условию нагрева тяговых двигателей.

Список литературы

1. Спицын А.Д. Оптимизация шахтного локомотивного транспорта. Алма-Ата: «Наука», КазССР, 1981.
2. Кордаков В.Н. Оптимизация параметров рудничного автоматизированного электровозного транспорта. Известия вузов: Горный журнал, 1988, № 5.
3. Методика определения экономических показателей эффективности транспортных систем угольных шахт//В.А. Пономаренко, Е.В. Макаров, - Донецк: ДГИД970.
4. Бунг П.К. Некоторые замечания по расчету трехфазных линейных электродвигателей с малыми синхронными скоростями// Электродвигатели с разомкнутым магнитопроводом / Новосибирск: НЭТИ, 1975, с. 9-24.
5. Банников Е.В, Кордаков В.Н. Анализ причин повреждаемости тяговых двигателей рудничных электровозов на шахте «Ленинградская».
6. Андреев Е.А., Шаронов С.В. / Система автоматического пуска привода рудничного электровоза. // СПбГТИ. - СПб. - 1998. — Рус. - ДепВИНИТИ. - №3279-В98.
7. Пассажирыские монорельсовые дороги", В.В. Чиркин, О.С. Петренко, А.С. Михайлов, Ю.М. Галонен. М., "Машиностроение", 1969г., 240с.
8. Кордаков В.Н. Определение закона управления рудничным электровозом при трогании поезда с места. Известия вузов: Горный журнал, 1980, № 1.
9. Методика определения экономических показателей эффективности транспортных систем угольных шахт//В.А. Пономаренко, Е.В. Макаров, - Донецк: ДГИД970.