

недостатня інформованість персоналу про впровадження СЕМ;
відсутність на підприємстві необхідних засобів обліку енергоспоживання.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Впровадження енергетичного менеджменту на підприємстві дає можливість постійно аналізувати стан енергозабезпечення й енерговикористання, організувати об'єктивний облік і контроль за станом витрат усіх видів ПЕР, критично оцінити енергетичну ефективність основних і допоміжних (загальнопромислових) технологій, активізувати та об'єднати вже наявні на підприємстві численні можливості та засоби для практичного вирішення пріоритетних проблем раціонального використання енергоресурсів.

Список літератури

1. Комплекс ресурсо- і енергозберігаючих геотехнологій видобутку та переробки мінеральної сировини, технічних засобів їх моніторингу із системою управління і оптимізації гірничорудних виробництв / **А.А. Азарян, Ю.Г. Вілкул, Ю.П. Капленко та ін.** – Кривий Ріг: Мінерал, 2006. – 219 с.
2. **Шидловський А.К., Півняк Г.Г., Рогоза М.В., Випанасенко С.І.** Геоекономіка та геополітика України: Навч. посібник. – Д.: Національний гірничий університет, 2007. – 282 с.
3. **Випанасенко С.І.** Системи енергоменеджменту вугільних шахт: Монографія. – Д.: Національний гірничий університет, 2008. – 106 с.
4. **Robert K.Hoshide.** Energy Conservation Measures (ESMs): Which Projects Should We Select / **Robert K.Hoshide** // Strategic Planning for Energy and the Environment. – 1997. - vol.16, No.4.

Рукопись поступила в редакцию 17.03.14

УДК 621.315.052.7: 62.395.14

О.Н. СИНЧУК, д-р техн. наук, проф.,
И.О. СИНЧУК, Э.С. ГУЗОВ, кандидаты техн. наук, доц.
Криворожский национальный университет
Ф.И. КАРАМАНИЦ, ПАО «Криворожжелезрудком»

О СОСТОЯНИИ И ОДНОМ ИЗ НАПРАВЛЕНИЙ РЕИНЖИНИРИНГА ЭЛЕКТРОВЗОВ ДЛЯ РУДНЫХ ШАХТ

В статье проведен анализ современного состояния электровозного транспорта в отечественных железорудных шахтах. Рассмотрены недостатки ныне эксплуатируемых контактных электровозов, в частности их энергоэффективность и электробезопасность. Как одно из направлений реинжиниринга технологического транспорта для рудных шахт рассматривается внедрение контактно-аккумуляторных электровозов.

Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями. Различные виды рудного сырья в т.ч. железорудного (ЖРС), добываемого в отечественных шахтах и рудниках, являются основным и устойчивым источником пополнения валютных запасов Украины [1,2].

Для сохранения приоритета на мировом рынке ЖРС необходимо постоянное сдерживание естественного, в связи с понижением уровня (глубин) добычи, процесса повышения себестоимости добываемого сырья [2].

Анализ исследований и публикаций. В общей структуре себестоимости ЖРС [2], добываемого подземным способом, немаловажной слагаемой предстаёт технологический транспорт (ВШТ), основным видом которого в железорудных шахтах является электровозный, обеспечивающий 100% подземных грузоперевозок руды и доставку горнорабочих к добычным участкам. К сожалению показатели функционирования ВШТ неутешительны (рис. 1).

Из 20-ти видов рудничных электровозов (РЭ), выпускаемых отечественными машиностроительными предприятиями, в железорудных шахтах эксплуатируются исключительно контактные виды - К14 и К10 сцепной массой соответственно 14 и 10 т.

Основным недостатком этих, как впрочем и других, типов отечественных контактных электровозов являются:

- недостаточная сцепная масса, которую необходимо увеличить до 16-18 т;
- неэргономичная конструкция механической части корпуса электровоза, в т.ч. месторасположение кабины машиниста, подвеска колёсных пар, форма пантографа и т.д.;
- электроэнергонеэффективная система тягового электромеханического комплекса;

повышенная опасность эксплуатации из-за наличия контактного провода в местах погрузки ЖРС (рис. 2,3).

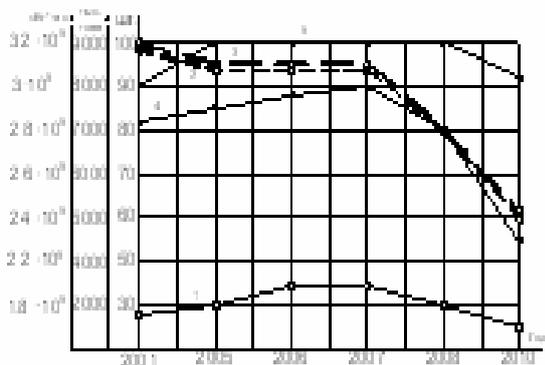


Рис. 1. Динамика технологических показателей ВШТ на предприятии ПАО «Криворожжелезрудком»: 1 - потребление электроэнергии на подземное производство; 2 - производственное потребление электроэнергии; 3 - общее потребление электроэнергии; 4 - добыча сырой руды; 5 - количество эксплуатируемых электровозов

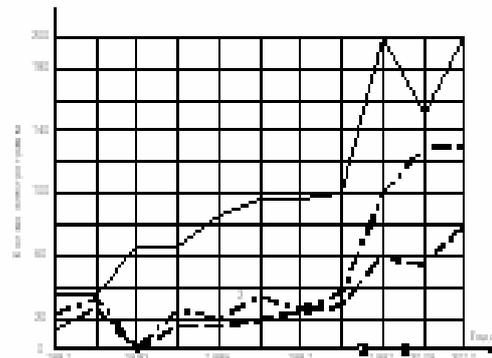


Рис. 2. Динамика изменения электротравматизма на внутришахтном электровозном транспорте железорудных предприятий Украины с подземным способом добычи железной руды: 1 - общее количество электротравм; 2,3 - электротравмы соответственно со смертельным исходом и при касании контактного провода в местах погрузки и выгрузки ископаемых

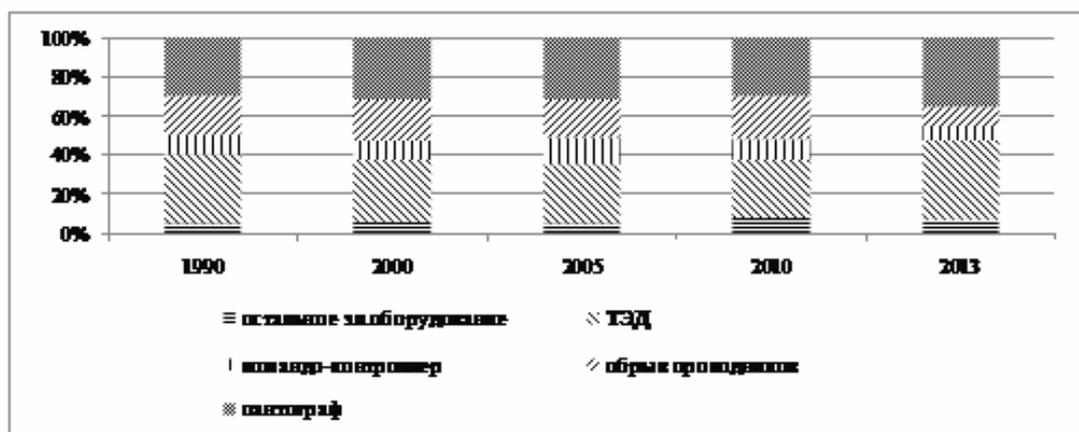


Рис. 3. Динамика изменения количества поврежденных основных элементов тягового электрооборудования рудничных электровозов К14 при эксплуатации их в железорудных шахтах Криворожского железорудного бассейна

Опираясь на вышеизложенное, а также оценивая реальные, т.е. фактические техникоэкономические показатели функционирования ВШТ отечественных железорудных шахт [1]. Отметим, что назрела острая необходимость в проведении процесса научно обоснованного реинжиниринга шахтных электровозосоставов с обязательным внедрением в практику их создания эффективных, скомплектованных на современной элементной базе тяговых электромеханических комплексов электровозов с микропроцессорными системами управления, возможностью мониторинга состояния параметров элементов электрооборудования, а также комплексов защит их от не штатных режимов функционирования.

Постановка задания. Целью данного исследования является анализ, оценка и формализация недостатков, разработка на этой основе научно-обоснованных предложений по направлению реинжиниринга контактных видов отечественных рудничных электровозов.

Изложение материалов и результатов исследований. Проанализируем в конкретной степени недостатки шахтных контактных электровозов.

Не углубляясь в суть первого из ранее изложенных недостатков, применительно к требованиям железорудных шахт, отметим следующее. Повышение в доступных размерах сцепной массы электровозов позволит повысить производительность электровозов, которая определяется его грузоподъемностью и временем цикла движения: «груженный + порожняк».

Говоря о механической части РЭ отметим лишь, что она требует совершенствования конструкции, но это отдельная тема исследований. Остановимся более подробно на тяговом электроприводе.

На ныне действующих отечественных видах электровозов применяются электропривода с тяговыми двигателями постоянного тока и контактно - резисторной системой управления [5 – 6]. Данный тип электропривода в электрической тяге устарел, что в значительной степени определяет низкую эффективность функционирования всего комплекса ВШТ:

- потери энергии в реостатах, составляющие около 30-40% потребляемой энергии;
- низкая надежность тяговых двигателей, срок службы которых не превышает 2-4 месяцев;
- значительные материальные и людские затраты на ремонт и текущее обслуживание тяговых двигателей постоянного тока;
- низкая надежность контроллеров системы управления;
- большая опасность силовых контроллеров в кабине машиниста, крышки которых легко прожигаются электрической дугой;
- ступенчатое регулирование не позволяет в полной мере реализовывать тяговые возможности электровоза;
- существующая система привода ограничивает возможность применения устройств автоматизации управления работой электровозов.

Снижение трудозатрат на электровозном транспорте может быть достигнуто применением дистанционного управления электровозами в местах погрузки и разгрузки руды.

При этом машинист электровоза выполняет две функции - загрузку или разгрузку вагонеток и управление электровозом. Передача команд управления на электровоз может производиться по индуктивному или радио – каналу [3].

К сожалению, невзирая на значительное (около 80 %) уменьшение по сравнению с 1990 г. объемов грузоперевозок в шахтах и, следовательно, уменьшения количества горнорабочих, электротравматизм в этих видах горных производств остаётся высоким (рис. 1) [8].

Одной из слагаемых этого процесса является КП тяговой контактной сети, где почти 100% поражений носит летальный исход для пораженных электрическим током [8].

Особую опасность представляет контактная сеть в зонах погрузки руды – в ортах – заездах.

Из-за пунктов погрузки нормально проложить контактный провод отводят сторону, а чаще разрывают у пунктов погрузки.

Допустимая высота подвески контактного провода в этих выработках всего 1,8 м и есть вероятность прикосновения непосредственно головой, что крайне опасно.

Чтобы проехать пункт погрузки машинисту приходится совершать сложные и часто опасные манипуляции с токосъемником.

Многочисленные попытки разработать реле утечки для защиты людей от поражения электрическим током в шахтных контактных сетях не дали положительных результатов из-за крайней сложности решением этой задачи при современном состоянии КП – утечку до 50 мА нужно выделить на фоне тяговых токов, которые в десятки тысяч раз больше [5,8].

На некоторых предприятиях по причине опасности КП в местах погрузки, пошли на нетрадиционный способ откатки – начав применять дизелевозы вместо электровозов.

Однако, во-первых, в соответствии ЕПБ (§336) [7] в шахтах «Запрещается на одних и тех же участках пути совмещение локомотивной откатки с другими видами откатки...».

Во-вторых, вентиляция горных подземных выработок проектировалась до глубин 1000 м, а сейчас работы в железорудных шахтах ведутся на глубинах превышающих эти отметки и уже испытывают проблему недостаточности вентиляции, не говоря уже о том, что применение дизелевозов неизбежно будет негативно влиять на содержание кислорода в атмосферном шахтном воздухе.

Отечественные рудные шахты по условиям вентиляции горных выработок не рассчитывались и не проектировались на данный вид транспорта, не говоря уже об весьма ограниченных возможностях его обслуживания и сервиса в подземных условиях с вытекающими отсюда немалыми дополнительными материальными затратами.

Как видим, пути совершенствования рудничного электровозного транспорта весьма многообразны.

Вместе с тем результаты проводимых в разные годы многочисленных исследований, нацеленных на достижение необходимо-ожидаемого уровня повышения эффективности и безопасности функционирования ВШТ, свидетельствует о том, что пусть даже и эффективными, но все же точечными, локальными методами, достичь этой цели невозможно [5].

Поэтому предлагаемый комплекс реинжиниринга ВШТ железорудных шахт должен, по мнению авторов, выглядеть следующим образом:

создание совершенной тяговой единицы - электровоза с тяговым электромеханическим комплексом, отвечающим современным требованиям и увеличением сцепного веса до 16-18 т; «конструирование» линейки автоматизации движением электровозосоставами по структуре:

локальные системы автоматизации управления электровозосоставами при погрузочно-разгрузочных операциях;

подсистема управления движением по главным откаточным выработкам.

Как следует из изложенного, первым и основополагающим принципом реализации процесса реинжиниринга ВШТ является создание на базе современных тяговых электротехнических систем новых видов (типов) электровозов.

При этом, обеспечивая требования электробезопасности необходимо понимать, что говоря о «новом» типе, речь должна идти о новом для отечественных предприятий электровозе или, точнее говоря, о новой системе его электроснабжения с обязательностью ликвидации контактного привода, как источника опасности для горнорабочих, в местах погрузки-разгрузки электровозосоставов, т.е. в ортах-заездах.

Прежние попытки решить эту проблему нельзя считать несостоятельными, но и эффективными, в полноте своего решения, также нельзя признать.

Практическую реализацию этот принцип приобрел лишь в решениях фирмы ASEA (Швеция), которая создала типовой ряд контактно-аккумуляторных электровозов сцепной массой 6-60т и именно на основе этих - базовых типов электровозов совместно, с фирмой SAAB-SCANIA (Швеция) впоследствии создала сеть автоматизированных систем управления ВШТ для ряда зарубежных рудников и шахт [9].

Более того, и в Украине создан и успешно прошел этап предварительных испытаний на шахтах Криворожского бассейна первый отечественный образец такого электровоза [10], оснащенного современным тяговым электроприводом типа: IGBT-инверторы - тяговые асинхронные электромеханические двигатели с возможностью автоматического управления движением электровозосоставами [11].

Упрощенная схема контактно-аккумуляторного электровоза с асинхронным приводом приведена на рис. 4.

Основными блоками тягового электропривода электровоза являются: пульт управления, система управления электроприводом с инверторами И1, И2 и тормозным чоппером VT, блок питания цепей управления и освещения БП, зарядное устройство ЗУ, аккумуляторная батарея АБ, тяговые асинхронные двигатели М1, М2.

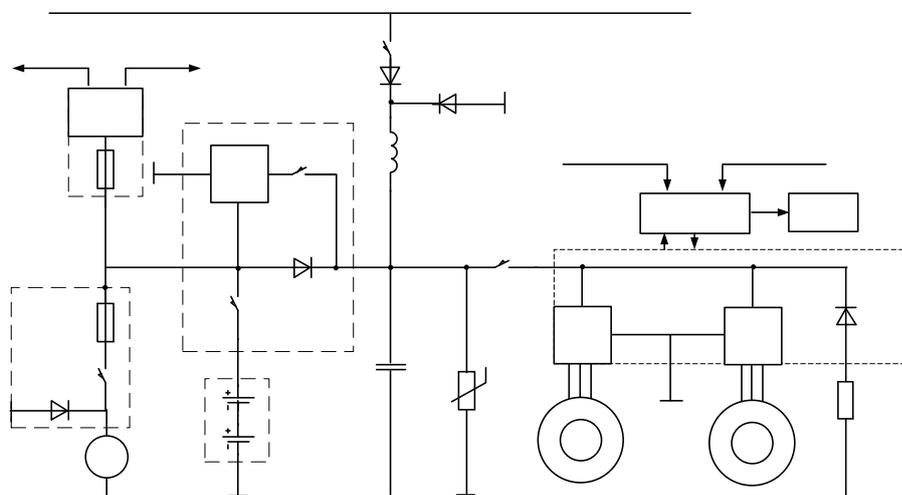


Рис. 4. Упрощенная электрическая схема шахтного контактно-аккумуляторного электровоза

Входной фильтр выполняется отдельным блоком и состоит из индуктивности L и емкости. Кроме этого в состав блока фильтра включены запирающий диод, обратный диод, ограничитель перенапряжений.

Ограничитель перенапряжений исключает появление опасных перенапряжений на конденсаторах, в том числе возникающих при резонансном заряде конденсаторов. При этом не требуется схема предварительного заряда конденсаторов через резистор и потери рабочего времени на заряд.

Двигаясь по главным выработкам, электровоз работает в контактном режиме, получая питания от контактного провода КП через токосъемник ХА. Далее через автоматический выключатель QF1 напряжение поступает на входной фильтр, который является общим для системы управления электроприводом и зарядного устройства.

Двигаясь по главным выработкам, электровоз работает в контактном режиме, получая питания от контактного провода КП через токосъемник ХА. Далее через автоматический выключатель Q F 1 напряжение поступает на входной фильтр, который является общим для системы управления электроприводом и зарядного устройства.

Скорость вращения двигателей регулируется автономными инверторами напряжения И1, И2, собранными на силовых IGBT трансформаторах. Диапазон регулирования частоты на выходе инверторов 2-100 Гц. При регулировании задается напряжение на тяговых двигателях, а частота автоматически перестраивается в зависимости от задаваемого напряжения и существующей в данный момент силы тяги электровоза в соответствии с соотношениями.

Следует также отметить, что характеристики выпускаемых электровозов недостаточно учитывают специфику их эксплуатации в рудных шахтах. Так коэффициент тяги составляет 0,17, в то время как реальный коэффициент сцепления в рудных шахтах составляет 0,21-0,25.

Представляет интерес также увеличение силы тяги и как результат увеличение производительности составов. Сила тяги может быть увеличена как за счет увеличения веса электровоза, так и за счет применения плавного автоматизированного управления электроприводом по закону

$$\frac{U}{U_n} = \frac{f}{f_n} \sqrt{\frac{F}{F_n}}, \quad (1)$$

или

$$u_* = f_* \sqrt{F_*}, \quad (2)$$

откуда $f_* = \frac{u_*}{\sqrt{F_*}}$,

где U - задаваемое напряжение на зажимах тяговых электромеханических двигателей; F - существующая сила тяги, зависящая от условий движения; f - частота на выходе инверторов, напряжения.

В результате такого способа регулирования электромеханические характеристики привода получаются мягкими, напоминающими по форме характеристики двигателей постоянного тока последовательного возбуждения. Это обеспечивает оптимальный режим работы как самого электропривода, так и системы тягового электроснабжения.

Предусматривается также электрическое торможение тяговых двигателей. При этом отключается контактор КМ1 и энергия торможения от двигателей М1, М2 через инверторы отдается тормозному резистору. Интенсивность торможения регулируется тормозным чоппером на транзисторе.

Для обеспечения электробезопасности контактный провод в погрузочных выработках ликвидируется. При этом повышается безопасность не только погрузочных, но и других работ в погрузочных выработках: крепление выработок, монтаж оборудования, уборка путей от просыпавшейся руды, ремонт рельсовых путей и др.

При отсутствии контактного провода питание тягового привода и других устройств электровоза осуществляется от вспомогательной аккумуляторной батареи АБ. По данным расчетов требуемая емкость батареи составляет 350- 400 А·ч, номинальное напряжение 80 В. С такими параметрами изготавливаются комплектные батареи для электропогрузчиков.

В данном случае применены свинцовые (кислотные) аккумуляторы, имеющие хорошие энергетические и другие характеристики. Так по сравнению с никель – железными, применяемыми на серийных рудничных аккумуляторных видах электровозов, свинцовые аккумуляторы имеют незначительное выделение газов в процессе заряда и могут изготавливаться даже в герметичном исполнении- необслуживаемые.

При работе электровоза на главных выработках – под контактной сетью – происходит автоматическая подзарядка аккумуляторной батареи от контактной сети с помощью зарядного устройства ЗУ. Зарядное устройство обеспечивает импульсное регулирование тока заряда в зависимости от напряжения в аккумуляторах. Для ограничения выделения газов в процессе заряда напряжение на одном аккумуляторе не должно превышать 2,4 В, а на батарее из 40 элементов - 96 В. Необходимый ток подзаряда аккумуляторной батареи определяется соотношением времени работы электровоза под контактной сетью и без контактной сети. Чем больше длина квершлагов и штреков - тем меньше требуемый ток заряда. Согласно расчетов этот ток находится в пределах 50-100 А, при этом ток потребляемый из контактной сети составит 20-35 А.

От аккумуляторной батареи получают питание не только силовые цепи, но и цепи управления электровоза: мотор компрессора МК и блок стабильного питания БП – для питания цепей освещения и элементов системы управления.

Тяговые асинхронные двигатели М1, М должны иметь мощность 45-50 кВт, 3 пары полюсов, скорость вращения 1180 об/мин при номинальной частоте 60 Гц. Часовая скорость электровоза составит 11,5 км/час, максимальная - 19,2 км/час.

Асинхронные двигатели в несколько раз дешевле двигателей постоянного тока. Разница в цене двигателей позволяет компенсировать дополнительные затраты на систему управления. В связи с отсутствием щеточно-коллекторного узла надежность асинхронных тяговых двигателей примерно в 5 раз выше, соответственно значительно меньше затраты на обслуживание и ремонт.

Аккумуляторная батарея размещается сверху электровоза сзади кабины, но при разработке новой конструкции РЭ необходимо предусмотреть её «посадку» внутрь электровоза. Масса батареи вместе с ящиком и элементами установки и крепления составляет 1,1 т. Для выравнивания нагрузки на оси требуется дополнительный балласт в передней части электровоза массой около 1 т. Таким образом масса электровоза увеличивается на 2 т, что позволяет увеличить тяговое усилие на 15 %.

Система управления электроприводом обеспечивает плавное регулирование тока и тягового усилия, а также защиту от буксования.

За счет этого максимальное тяговое усилие может быть увеличено еще на 10-20 %. В итоге максимальная сила тяги электровоза увеличивается на 20-30 % и он будет устойчиво перевозить составы не из 10, а из 12 вагонеток грузоподъемностью 10 т.

За счет плавного регулирования также снижается вероятность и интенсивность буксования, что уменьшит износ колес и рельсов и расход энергии.

Микропроцессорная система управления легко приспосабливается для дистанционного управления электровозами при выполнении погрузочных и разгрузочных работ. Целесообразно использовать комплектные устройства промышленного радиоуправления.

Требуемое расстояние радиоуправления - до 100 м, количество передаваемых команд - две: «вперед» и «назад», отсутствие команд означает «стоп».

Применение дистанционного управления снижает затраты и повышает производительность.

Управление тормозной системой при дистанционном управлении осуществляется электропневматическим клапаном ЭК. (см. рис. 4)

Пульт управления содержит следующие элементы:

переключатель направления движения в виде съемного ключа с положением «вперед» - 0-«назад»;

рукоятка управления режимами движения - «ход» - 0 - «тормоз», положением рукоятки задается скорость хода или интенсивность торможения;

Переключатель вида управления - «ручное» или «дистанционное», при этом ручное управление возможно как при питании от контактной сети, так и от АБ, дистанционное - только от АБ.

На индикаторе пульта управления в процессе движения постоянно высвечивается скорость электровоза, могут также показываться токи двигателей, напряжения в контактной сети и на АБ и другие параметры.

Работа машиниста несколько упрощается - ему достаточно рукояткой управления задать требуемую скорость и система автоматически обеспечивает плавный разгон до нужной скорости.

сти с ограничением максимальных токов и механических нагрузок в элементах передачи и в сцепных устройствах, существенно улучшает динамику движения электровозосостава.

Поскольку из кабины убирается силовой контроллер, который был крайне ненадежен и опасен, работа машиниста становится значительно безопасней и соответствует работе оператора-контролера.

Выводы и направления дальнейших исследований. Оценивая преимущества контактно-аккумуляторных видов электровозов с асинхронным тяговым электромеханическим комплексом по сравнению с ныне эксплуатируемыми контактными можно отметить:

за счет устранения контактного провода в наиболее опасных местах - погрузочных выработках - существенно повышается безопасность всех видов работ в погрузочных выработках;

одновременно устраняются затраты на сооружения и эксплуатацию контактных сетей в погрузочных выработках, общая протяженность которых составляет около 30 % протяженности контактной сети шахт;

применение частотно управляемого асинхронно привода позволяет уменьшить расход электроэнергии на транспорте на 25-30 %;

по сравнению с двигателями постоянного тока в 4-5 раз снижаются затраты на ремонт и эксплуатацию асинхронных тяговых двигателей;

применение бесконтактного регулирования вместо силовых контроллеров в несколько раз повышает надежность системы управления;

плавное регулирование силы тяги и ограничение максимальных усилий позволяет примерно в 4 раза увеличить надежность элементов механических передач;

за счет увеличения массы электровоза и плавного регулирования масса состава может быть увеличена на 20-30 %;

применение дистанционного управления электровозом при погрузочно-разгрузочных работах позволяет уменьшить затраты труда и увеличить производительность работ;

автоматизация процессов управления повышает их эффективность и упрощает работу машиниста;

отсутствие контактного провода в зонах погрузки исключает опасные манипуляции с токо-съемником, изъятие силового контроллера также повышает безопасность работы машинистов.

К недостаткам разработанной системы следует отнести существенные затраты на приобретение и эксплуатацию тяговых аккумуляторов, но человеческая жизнь все-таки дороже.

Список литературы

1. Шидловський А.К., Півняк Г.Г., Рогоза М.В., Випанасенко С.І. Гоекономіка та геополітика України: Навч. посібник. – Д.: Національний гірничий університет, 2007. – 282 с.
2. 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.
3. Шахтный подземный транспорт: справочное издание. Шахтный локомотивный и рельсовый транспорт / Ю.Ф. Бутт, В.Б. Грядущий, В.Л. Дебелый, А.Н. Коваль, А.Л. Фурман, В.М. Щука, В.А. Яценко // Под общ. ред. Б.А.Грядущего. – Т.1. – Донецк: «ВИК», 2009. – 481 с.
4. Синчук О.Н., Лебедин С.В., Удовенко О.А., Пасько О.В. Перспективы развития энергосберегающего тягового электропривода для рудной и угольной отрасли промышленности Украины / Технічна електродинаміка. Тематичний випуск. Проблеми сучасної електротехніки. Інститут електродинаміки НАН України. Частина 1. К.: 2006, - С.50-56
5. Беридзе Т.М., Гузов Э.С. и др. Системы управления рудничным электровозным транспортом. /Под ред. Синчука О.Н. – М.:Недра, 1993. – 225 с.
6. Волотковский С.А. Рудничная электровозная тяга. М.: Недра, 1986.
7. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений подземным способом. М.: Недра, 1972. – 225 с.
8. Синчук О.Н., Гузов Э.С. Электротравматизм и пути его снижения на электровозном транспорте / Безопасность труда в промышленности, № 11. – 1980г.
9. Bertil Oberg. Computer-controller ore transformation at the LKAB mine in Kiruna. – Sweden Information of ASEA, 2002. – 212 p.
10. Синчук О.Н., Шокарев Д.А., Скапа Е.И., Гузов Э.С., Караманич Ф.И. Синергетический тяговый асинхронный электротехнический привод для контактно-аккумуляторного двухосного электровоза / Електромеханічні та енергозберігаючі системи. – Кременчук : КНУ, 2011. – Вип. 4/2011 (16). – С. 65-68.
11. Синчук О.Н., Скапа Е.И., Гузов Э.С. Система управления контактно-аккумуляторными электровозами при погрузочно-разгрузочных операциях / Електромеханічні та енергозберігаючі системи. – Кременчук: КНУ, 2011. – Вип. 4/2011 (16). – С. 74-77.

Рукопись поступила в редакцию 12.02.14