

УДК 621.311.4.031

**РУДНИЧНИЙ ГІБРИДНИЙ ЕЛЕКТРОВАЗ С АСИНХРОННИМ ПРИВОДОМ
І АВТОМАТИЗОВАНИМ УПРАВЛЕННЯМ**

О. Н. Синчук, Э. С. Гузов, И. О. Синчук, М. А. Баулина

Государственное высшее учебное заведение «Криворожский национальный университет»
ул. XXII партсъезда, 11, г. Кривой Рог, 50027, Украина. E-mail: speet@ukr.net

Е. И. Скапа

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: seem@kdu.edu.ua

Приведены результаты исследований по разработке энергоэффективного и безопасного в эксплуатации рудничного электровоза для отечественных шахт – гибридного контактно-аккумуляторного с асинхронным тяговым автоматизированным электроприводом. Изложены результаты разработки тягового электромеханического комплекса для контактно-аккумуляторного двухосного (рудничного) электровоза. Приведена базовая структура энергоэффективного тягового электротехнического комплекса с автоматизированным управлением при выполнении погрузочных и разгрузочных работ.

Ключевые слова: гибридный контактно-аккумуляторный электровоз, асинхронный электрический привод, автоматизация.

**РУДНИКОВИЙ ГІБРИДНИЙ ЕЛЕКТРОВАЗ З АСИНХРОННИМ ПРИВОДОМ
ТА АВТОМАТИЗОВАНИМ КЕРУВАННЯМ**

О. М. Сінчук, Е. С. Гузов, І. О. Сінчук, М. А. Бауліна

Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет»
вул. XXII парт'їзду, 11, 50027, м. Кривий Ріг, Україна. E-mail: speet@ukr.net

Є. І. Скапа

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: seem@kdu.edu.ua

Наведено результати досліджень з розробки енергоефективного та безпечного у використанні рудникового електровозу для вітчизняних шахт – гібридного контактно-аккумуляторного з асинхронним тяговим автоматизованим електроприводом. Викладено результати розробки тягового електромеханічного комплексу для контактно-аккумуляторного двоосьового (рудникового) електровозу. Наведено базову структуру енергоефективного тягового електричного комплексу з автоматизованим керуванням під час виконання навантажувальних та розвантажувальних робіт.

Ключові слова: гібридний контактно-аккумуляторний електровоз, асинхронний електричний привод, автоматизація.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. На отечественных предприятиях с подземной технологией ведения работ эксплуатируется более 4 тысяч двоосных электровозов, которые официально классифицируются как рудничные и насчитывают 20 разных видов [1]. В настоящее время уровень технического износа эксплуатируемых электровозов составляет 75–80 % [1–3].

При темпах отставания вывода из эксплуатации и списания из-за износа электрооборудования в качестве производственных фондов отечественных горнометаллургических предприятий в 3,5–4 раза темпы вывода из эксплуатации рудничных контактных электровозов отстают в 5,5–6,0 раз от нормативных.

При таких темпах реального вывода изношенных электровозов из эксплуатации в отечественных шахтах необходимо около 25–30 лет, что значительно отдалает ожидаемое горняками решение проблемы повышения эффективности внутришахтного транспорта (ВШТ) [1]. Поэтому, не отклоняясь от стратегии разработки и, что важно, выпуска новых видов отечественных рудничных электровозов, которых, к сожалению, ещё и не существует, реальным направлением для горнорудных предприятий с минимальным инвестиционным сроком является модернизация существующих видов путём

замены в них тяговых энергомеханических комплексов (электроприводов) на новые – энергоэффективные и приспособленные к внедрению на их основе автоматизированные системы управления ВШТ. Последнее особенно важно ещё и потому, что на отечественных горных предприятиях в последние несколько лет количество поражений горняков при их несанкционированном касании контактного провода (КП) значительно возросло [3].

Выходом из такой ситуации и одновременно решением проблемы повышения эффективности ВШТ (о которой шла речь ранее) является создание базовой принципиальной модели рудничного электровоза, способного обеспечить выполнение поставленных задач.

Такой моделью является гибридный контактно-аккумуляторный электровоз, который при движении в главных рудничных выработках будет работать в автоматизированном режиме управления и питания от тяговой контактной сети (КС), а в опасных, с точки зрения поражения горняков электрическим током при касании контактного провода, местах (ортах) погрузки–разгрузки – в автономном: от тяговой аккумуляторной батареи с автоматическим управлением этим процессом [4].

Целью работы является разработка энергоэффективного асинхронного тягового электропривода для

гибридного контактно-аккумуляторного электровоза с автоматизированным управлением при выполнении погрузочно-разгрузочных работ.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Базовым типом электровоза для преобразования его в гибридный может быть контактный электровоз К14 с возможностью переоборудования его в гибридный – контактно-аккумуляторный вид¹.

Вместе с тем, достижение желаемой эффективности (в том числе энергоэффективности) путем создания электровоза такого вида должно базироваться на современном типе и структуре тягового электротехнического комплекса (ТЭТК).

Существующие же ТЭТК не отвечают современным условиям по следующим причинам:

- значительные потери энергии в реостатах, составляющие около 30 % от общей потребляемой энергии;
- низкая надежность тяговых двигателей постоянного тока, срок службы которых часто не превышает нескольких месяцев и больших затрат на их ремонт и эксплуатацию;
- низкая надежность контроллеров и контакторов системы управления;
- большая опасность для машиниста электровоза по причине присутствия силового контроллера, крышка которого легко прожигается электрической дугой, коммутирующего значительные по величине токи в кабине машиниста;
- невозможность в полной мере реализовать тяговые возможности электровоза вследствие ступенчатого регулирования напряжения на зажимах тяговых электрических двигателей (ТЭД);
- отсутствие возможности применить устройства автоматизации управления режимами работы электровозосоставов.

Как показывают результаты исследований [3], достичь требуемой эффективности функционирования любых видов рудничных электровозов можно, применив на них ТЭТК типа IGBT-преобразователь-асинхронные тяговые двигатели с микропроцессорной системой управления. При этом, по сравнению с ТЭТК постоянного тока, возможны следующие преимущества данного варианта:

- повышение в 4–5 раз надежности тяговых асинхронных двигателей (ТАД);
- повышение безопасности эксплуатации в условиях повышенной опасности, каковыми являются шахты и рудники;
- возможность ожидаемого снижения габаритов тяговых двигателей и увеличения их мощности на 20 % в рамках существующих массогабаритных показателей;
- снижение стоимости ТАД по сравнению с ТЭД постоянного тока при тех же мощностях;

¹ В дальнейшем, при разработке новой конструкции гибридного образца, потребуются изменение конструкции механической части электровоза.

- исключение частот вращения тяговых двигателей, превышающих допустимые (разноосные);
- получение более высокого КПД всей тяговой системы на 20–40 %;
- значительное снижение (в 2–3 раза) затрат на обслуживание и ремонт ТАД;
- плавное бесступенчатое регулирование тягового и тормозного усилия электровоза;
- возможность функционирования в синергетическом варианте (контактно-аккумуляторный электровоз).

Структура тягового электротехнического комплекса.

Упрощенная схема контактно-аккумуляторного электровоза с асинхронным приводом приведена на рис. 1.

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

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

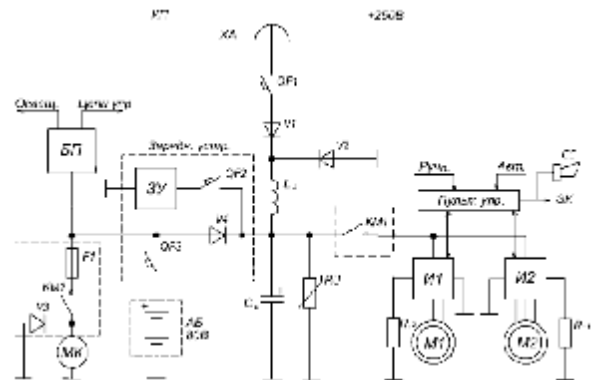


Рисунок 1 – Упрощенная принципиальная схема рудничного контактно-аккумуляторного электровоза с асинхронным тяговым электроприводом

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 тормозным рези-

сторам $R_{т1}$, $R_{т2}$. Интенсивность торможения регулируется тормозными чопперами, находящимися в блоках инверторов.

При режиме автономного функционирования питания ТЭТК электровоза осуществляется от вспомогательной аккумуляторной батареи (АБ). Требуемая емкость батареи – 350–400 А, $U_H=80$ В.

При работе электровоза на главных выработках – под контактной сетью – происходит автоматическая подзарядка аккумуляторной батареи от контактной сети с помощью зарядного устройства (ЗУ).

Система управления электроприводом обеспечивает плавное регулирование тока и тягового усилия, а также защиту от буксования. За счет этого максимальное тяговое усилие может быть дополнительно увеличено на 10–20 %. С учётом увеличения веса максимальная сила тяги электровоза увеличивается на 20–30 %, и он будет устойчиво перевозить составы не из 10, как обычно, а из 12 вагонеток грузоподъемностью 10 т.

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

Микропроцессорная система управления легко приспособляется для автоматического управления электровозами при выполнении погрузочных и разгрузочных работ.

Система автоматического управления. Устройство дистанционного управления органично связано с системами управления электровозов. С одной стороны, схемные решения этих устройств зависят от схем управления электровозов, с другой – потребность дистанционного управления предъявляет свои требования к системам управления электровозов. Применение дистанционного управления электровозами налагает свой отпечаток на общую организацию работ на транспорте, создает предпосылки и является этапом дальнейшей автоматизации управления шахтным транспортом.

Применительно к шахтам по добыче руд чёрных и цветных металлов технология откатки предусматривает движение нерасцепляемых составов в процессе всего цикла движения. При выполнении погрузочных и разгрузочных работ обмен вагонеток осуществляется электровозами путём продвижения всего состава на требуемое расстояние.

На погрузочных работах заняты одновременно двое рабочих: машинист электровоза и рабочий, производящий погрузку. На одних шахтах имеется должность «люковой-прожатый», на других погрузку производят рабочие добычных участков – это не меняет сущности. Рабочий, находящийся у люка, производит погрузку и по мере загрузки вагонеток для продвижения состава под люком подаёт акустические сигналы машинисту электровоза.

Так как машинист не видит положение вагонетки под люком и степень её загрузки, он не может своевременно и точно продвигать состав. В результате имеются потери времени, возможна неполная загрузка или, наоборот, перегрузка вагонетки и просыпание руды на рельсы с последующими затратами на уборку.

Эти недостатки могут быть ликвидированы применением системы автоматического (дистанционного) управления электровозом, что позволяет одному рабочему (машинисту электровоза) производить погрузку, находясь у пункта погрузки, и управлять электровозом на безопасном расстоянии для перестановки вагонеток под пунктом погрузки. Производительность труда при этом при погрузочных работах возрастает более чем вдвое, сокращается время погрузки, повышается безопасность работ.

Аналогичной является и эффективность автоматического управления электровозами при разгрузке вагонеток в опрокидывателях.

Применение дистанционного управления электровозами, наряду с повышением производительности, даёт возможность существенно повысить безопасность работ при выполнении различных маневровых операций. Так, например, при заталкивании состава в тупиковую погрузочную выработку машинист может находиться у хвоста состава и управлять электровозом дистанционно, при этом он видит обстановку в выработке, что невозможно осуществить из кабины электровоза.

Интересно использование автоматического управления также в тех случаях, когда машинисту опасно находиться на электровозе. Так, один из вариантов разработанной авторами аппаратуры использовался для управления лёгкими аккумуляторными электровозами при проезде через шлюзовые камеры кессонов при специальных способах проходки выработок [5].

Внедрение систем автоматического управления электровозами в промышленную эксплуатацию встречает многообразные технологические трудности [5]. Этим, в основном, и объясняется ограниченное использование до настоящего времени систем автоматического управления электровозами на внутришахтном транспорте.

Прежде всего это связано с тем, что применение системы выпуска и погрузки руды с помощью виброустановок привело к тому, что в зоне погрузки невозможно проложить сплошной контактный провод (КП). Под каждым пунктом погрузки, а их может быть до 10 в каждой погрузочной выработке, контактный провод имеет разрывы длиной около 3 м, перекрываемые кабельной перемычкой. Проезд зоны погрузки требует «виртуозной работы» машиниста электровоза и часто сопровождается нарушениями техники безопасности. Разрывы контактного провода в зоне погрузки одновременно являются основным техническим препятствием для внедрения систем автоматического управления электровозами.

К сожалению, и количество несчастных случаев от несанкционированного касания горнорабочими КП в последнее время имеет тенденцию к увеличению. Радикальным решением этой проблемы является применение откатки на базе контактно-аккумуляторных электровозов, когда электровоз в местах погрузки (разгрузки) работает в автономном режиме – при питании от тяговых аккумуляторных батарей [2]. При этом устраняется главная проблема – контактный провод в ортах, т.е. в местах загрузки электровозосоставов.

Известные способы автоматического управления рудничными электровозами разных видов отличаются большим многообразием принципиальных решений. Наиболее существенное различие между разработками заключается в способе передачи команд управления на движущийся электровоз. Наиболее целесообразно передавать команды управления с помощью высокочастотных сигналов. Сигналы управления могут передаваться по различным каналам: по контактной сети при её наличии, индуктивному каналу и радиоканалу.

При отсутствии контактного провода в зонах погрузки (т.е. вариант контактно-аккумуляторного электровоза) команды управления на электровоз могут передаваться двумя способами – через индуктивную связь или через радиоканал. Для индуктивной связи требуется прокладка вдоль всей зоны управления передающей проводной петли, к которой присоединяются передатчики сигналов управления.

Несомненное достоинство радиоканала – возможность управления из любого места откаточной выработки без предварительной подготовки зоны управления. Однако радиоканал в чистом виде в шахтных условиях имеет ограниченные возможности: свободное распространение радиоволн ограничено из-за большого их поглощения проводящей окружающей средой. Для увеличения зоны управления и повышения надёжности радиоканала необходимо использовать направляющие радиоволн, которыми могут служить контактный провод или, при его отсутствии, естественные или специально прокладываемые, изолированные от земли проводники.

Для обеспечения независимой работы необходимо, чтобы каждый электровоз имел свои команды радиопередачи, т.е. свою пару передатчик–приёмник. Это несколько усложняет эксплуатацию аппаратуры при большом количестве электровозов.

Применение радиоканала целесообразно также в тех случаях, когда затруднительно или невозможно применить каналы управления по контактной сети или индуктивный, например, если необходимо свободное перемещение оператора.

Рассмотрим структурную схему радиопередачи электровозом при выполнении погрузочных работ (рис. 2).

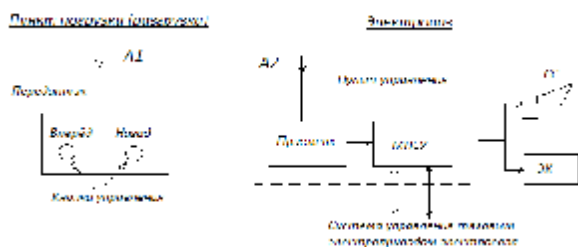


Рисунок 2 – Структурная схема радиопередачи рудничным электровозом:

- A1, A2 – передающая и приёмная антенны;
- МПСУ – микропроцессорная система управления;
- СС – сирена сигнальная;
- ЭК – электропневматический клапан

Основными элементами системы являются передатчик и приёмник радиопередачи. На передатчике имеются кнопки управления движением электровоза «Вперёд» и «Назад» (или джойстик). Работа схемы происходит следующим образом.

Приехав к пункту погрузки, машинист переключает схему электровоза на режим дистанционного управления. При этом включается в работу приёмник радиосигналов в пульте управления, режим работы микропроцессорной системы управления (МПСУ) переключается с ручного на дистанционное, электровоз затормаживается с помощью пневматической тормозной системы. Затем машинист берёт портативный передатчик сигналов радиопередачи и направляется к пункту погрузки.

Находясь непосредственно у пункта погрузки, машинист электровоза управляет погрузочным устройством (вибролюком), производя загрузку вагонеток. По мере загрузки вагонеток машинист, нажимая кнопки управления на передатчике, продвигает состав на нужное расстояние, производя смену вагонеток под погрузочным устройством.

При приёме сигнала движения вперёд или назад на электровозе включаются сигнальная сирена (СС) и электропневматический клапан (ЭК), подаётся предупреждающий сигнал и растормаживается электровоз. Затем, через 2–3 с, включается тяговый электропривод и электровоз плавно начинает движение. При отпуске кнопки управления на передатчике тяговые двигатели отключаются и электровоз затормаживается.

Закончив погрузку, машинист запрашивает маршрут у диспетчера и ведёт состав в околостольный двор для разгрузки. Аналогично происходит работа машиниста при дистанционном управлении электровозом в процессе разгрузки состава в круговом опрокидывателе.

Так как машинист управляет одновременно и загрузкой–разгрузкой вагонеток, и продвижением состава, обеспечивается чёткая слаженная работа без потерь времени, без перегрузки или недогрузки вагонеток, лишних затрат энергии.

Комплексное решение задач применения асинхронного тягового автоматизированного электропривода, комбинированного питания как от контактной сети, так и от аккумуляторной батареи, дистанционное управление электровозом при выполнении погрузочных и разгрузочных работ позволило создать высокоэффективную тяговую машину для подземного транспорта горных предприятий.

ВЫВОДЫ. Перспективным направлением создания энергоэффективного и безопасного в эксплуатации рудничного электровоза является гибридный контактно-аккумуляторный с асинхронным тяговым приводом. Применение закона оптимального регулирования электротехническим комплексом на базе IGBT-инверторов и ТАД позволит:

- получить требуемые «мягкие» характеристики тягового комплекса;
- увеличить тяговое усилие электровоза на 20 % при сохранении мощности за счет увеличения сцепной массы и понижения скорости движения локомотива;

– повысить за счет увеличения массы электропровода и плавного бесступенчатого регулирования частоты вращения ТАД производительность электропроводов на 20 %.

За счет устранения контактного провода в наиболее опасных местах – погрузочных выработках – существенно повышается безопасность всех видов работ. Одновременно устраняются значимые для предприятий затраты на сооружение и эксплуатацию контактных сетей в погрузочных выработках, общая протяженность которых составляет около 30 % протяженности контактной сети шахты.

Применение асинхронного частотно управляемого привода позволяет:

– уменьшить расход электроэнергии на электровазном транспорте на 25–35 %;

– в 4–5 раз снизить затраты на ремонт и эксплуатацию асинхронных тяговых двигателей;

– повысить надежность системы управления рудничного электроваза;

– более чем в четыре раза увеличить надежность элементов механических передач электроваза;

– увеличить массу электроваза за счёт плавного регулирования на 20–30 %.

Применение автоматического (дистанционного) управления электровазами при погрузочно-разгрузочных работах позволяет:

– уменьшить затраты труда и увеличить производительность работы ВШТ на 15–25 %;

– повысить их эффективность, безопасность и упростить работу машиниста;

– исключить опасные манипуляции с токосъемником, а изъятие силового контроллера из кабины машиниста дополнительно способствует повышению безопасности работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основные направления развития шахтного локомотивного транспорта / В.Л. Дебелый, Л.Л. Дебелый, С.А. Мельников // Уголь Украины. – 2006. – № 6. – С. 30–31.

2. Контактно-аккумуляторный шахтный электроваз с тяговым электротехническим комплексом: IGBT-инвертор–асинхронный электрический двигатель / О.Н. Синчук, И.О. Синчук, Д.А. Шокарев и др. // Вісник СХУ ім. В. Даля. – 2011. – № 4/2011 (158), ч. 1. – С. 172–178.

3. Синчук О.Н., Юрченко Н.Н., Чернышев А.А. и др. Комбинаторика преобразователей напряжения современных тяговых электроприводов рудничных электровазов. – К., 2006. – 250 с.

4. Синчук О.Н., Шокарев Д.А., Скапа Е.И. О реализации закона оптимального управления тяговым электротехническим комплексом // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2011. – № 03/2011 (79). – С. 140–141.

5. Системы управления рудничным электровазным транспортом / Под ред. О.Н. Синчука. – М.: Недра, 1993. – 255 с.

MINE HYBRID ELECTRIC LOCOMOTIVE WITH ASYNCHRONOUS DRIVE AND AUTOMATED MANAGEMENT

O. Sinchuk, E. Guzov, I. Sinchuk, M. Baulina

State Higher Educational Institution «Kryvyi Rih National University»
ul. XXII Partsyezda, 11, Kryvoy Rog, 50027, Ukraine. E-mail: speet@ukr.net

Ye. Skapa

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University
ul. Pervomayskaya, 20, Kremenchug, 39600, Ukraine. E-mail: seem@kdu.edu.ua

There are the results of researches on development of energy effective and safe in exploitation mine electric locomotive – hybrid pin-storage-battery with the asynchronous automated drive in the article. The results of development of hauling electromechanics complex for a pin-storage-battery mine biaxial electric locomotive are expounded. A base structure over of energy effective hauling electrical engineering complex with the automated management of loading and unloading works is brought.

Key words: hybrid pin-storage-battery electric locomotive, asynchronous drive, automation.

REFERENCES

1. Basic directions of development of mine locomotive transport / V.L. Debeliy, L.L. Debeliy, S.A. Melnikov // *The Coal of Ukraine*. – 2006. – № 6. – PP. 30–31. [in Russian]

2. Pin-storage-battery mine electric locomotive with a hauling electrical engineering complex: IGBT-negator–asynchronous electric engine / O.N. Sinchuk, I.O. Sinchuk, D.A. Shokarev and oth. // Bulletin East-Ukrainian National University named after Volodimir Dahl. – 2011. – № 4/2011 (158), part 1. – PP. 172–178. [in Russian]

3. Sinchuk O.N., Yurchenko N.N., Chernishov A.A. and oth. *Combinatorics of transformers of tension of modern hauling*

electromechanics of mine electric locomotives. – К., 2006. – 250 p. [in Russian]

4. About realization of law of optimal management of hauling electrical engineering complex / D.A. Shokarev., Skapa E.I., Guzov E.S., Sinchuk I.O. // *Engineering and Computer Systems*. – 2011. – № 03/2011 (79). – PP. 140–141. [in Russian]

5. Sinchuk O.N. *Control system by a mine electric locomotive transport*. – М.: Nedra, 1993. – 255 p. [in Russian]

Стаття надійшла 12.05.2012.

Рекомендовано до друку
д.т.н., проф. Чорним О.П.