УДК 621.315.62:621.879.3 © С.И. Малафеев, Н.А. Серебренников, 2018

Повышение энергетической эффективности карьерных экскаваторов на основе модернизации электрооборудования и систем управления

DOI: http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2018-10-30-34

МАЛАФЕЕВ
Сергей Иванович
Доктор техн. наук,
профессор,
главный научный сотрудник
ООО Компания
«Объединенная Энергия»,
111672, г. Москва, Россия,
тел.: +7 (495) 544-46-47,
e-mail: sim@jpc.ru

СЕРЕБРЕННИКОВ
Николай Александрович
Генеральный директор
ООО Компания
«Объединенная Энергия»,
111672, г. Москва, Россия,
тел.: +7 (495) 558-88-18,
e-mail: serebrennikov@jpc.ru

В статье приведены результаты модернизации карьерных экскаваторов в Республике Узбекистан, выполненной Компанией «Объединенная Энергия» (г. Москва). В проекте применены инновационные технические решения: электроприводы постоянного тока с транзисторными преобразователями управления; активные выпрямители для электропитания системы приводов; современный человеко-машинный интерфейс; компьютерная информационно-диагностическая система; система удаленного мониторинга. Новые экскаваторы эксплуатируются в настоящее время на добывающих предприятиях Навоийского горно-металлургического комбината (Республика Узбекистан).

***Ключевые слова**: экскаватор, мехатроника, двигатель, привод, контроллер.*

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на горных предприятиях управление энергопотреблением является важнейшим показателем эффективности их работы [1]. Мероприятия в области энергоэффективности направлены на все аспекты горных работ и добычи полезных ископаемых [2, 3]. Основным звеном в этом процессе является горная машина, характеристики которой заложены при проектировании и должны поддерживаться при эксплуатации [4, 5].

Экскаваторы прошлого столетия были оснащены приводами главного движения по традиционной схеме генератор – двигатель постоянного тока (Г-Д) [5]. Таким приводам присущи серьезные недостатки, влияющие на производительность экскаваторов [6]. Двойное преобразование энергии является причиной низкого КПД системы приводов [7], а электрические машины со скользящими контактами требуют постоянного обслуживания и имеют низкую надежность [8].

Перспективный вариант системы электропривода постоянного тока для экскаваторов основан на использовании широтно-импульсных преобразователей энергии, которые обеспечивают повышение КПД приводов и экскаватора в целом, существенное увеличение надежности и коэффициента мощности [8].

В 2016 г. Компания «Объединенная Энергия» выполнила модернизацию 15 карьерных экскаваторов для государственного предприятия «Навоийский горно-металлургический комбинат» (ГП НГМК) по проекту «Повышение энергоэффективности промышленных предприятий Республики Узбекистан (ПЭЭП)». Цель модернизации – снижение электропотребления и потерь электроэнергии в питающих сетях, повышение качества работы приводов, увеличение надежности оборудования путем замены генераторной группы транзисторными преобразователями энергии с современной системой управления [9].

В настоящей работе представлено краткое описание результатов реализации указанного проекта модернизации карьерных экскаваторов ЭКГ-5, ЭКГ-10 и ЭКГ-15.

ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ В ПРОЕКТЕ МОДЕРНИЗАЦИИ ЭКСКАВАТОРОВ

Проект модернизации экскаваторов предусматривал полную замену физически и морально устаревшего оборудования и применение современных компонентов управления, использующих достижения в области электропривода,

силовой преобразовательной техники и информационных технологий [10, 11, 12]. В экскаваторах использованы:

– ячейка высоковольтного ввода с системой защит оборудования и модулем учета расхода электроэнергии;

– транзисторные широтно-импульсные преобразователи для управления двигателями постоянного тока;

– активные выпрямители для электропитания системы приводов;

– стабилизаторы трехфазного переменного напряжения для электропитания вспомогательного оборудования;

– современный человеко-машинный интерфейс, компьютерная информационно-диагностическая система и система удаленного мониторинга.

Мехатронный комплекс реализован на основе типовой функциональной схемы, разработанной Компанией «Объединенная Энергия» для карьерных экскаваторов [8]. Первый приоритет в этом комплексе имеет система электропитания, обеспечивающая его эффективную работу во всех режимах.

Рис. 1. Ячейка высоковольтного ввода

Ячейка высоковольтного ввода ЯВВ-6-250-УХЛ2 *(рис. 1)* для экскаваторов имеет виброустойчивое исполнение с односторонним обслуживанием, содержит два разъединителя для подключения силового трансформатора электропитания главных приводов и вспомогательного электрооборудования.

Устройство полностью отвечает всем требованиям РД 05-334-99, утвержденным Госгортехнадзором России. Повышенная безопасность эксплуатации ячейки обеспечивается взаимной блокировкой разъединителей, исключением доступа в отсек при включенном разъединителе, индикацией высокого напряжения на вводе и состояния вакуумного контактора. Устройство содержит полный комплект специальных микроконтроллерных защит с функцией тестирования и индикацией причины срабатывания защитного отключения, компоненты местного и дистанционного управления, контроллер регистрации аварийных событий. Ячейка оснащена многофункциональными приборами учета расхода электроэнергии типа «Знак+». Ресурс коммутационной аппаратуры ячейки составляет 750000 циклов.

Электроприводы главного движения экскаваторов (напора, подъема и поворота), а также электропривод хода выполнены по системе «транзисторный широтно-импульсный преобразователь – двигатель постоянного тока». Для электропитания приводов используется локальная сеть постоянного тока, организованная с использованием группы активных выпрямителей АВ и емкостным накопителем энергии. Выходное напряжение в локальной сети постоянного тока поддерживается постоянным с помощью регулятора напряжения, который также обеспечивает управляемый «мягкий» заряд конденсаторов в звене постоянного тока при включении системы. Регулирование скорости и момента электроприводов экскаваторов происходит путем изменения частоты и напряжения на якорных обмотках приводных двигателей с помощью мостовых транзисторных преобразователей. Питание преобразователей осуществляется от общего звена постоянного тока, напряжение которого стабилизируется активными выпрямителями. От общего звена постоянного тока питаются: реверсивный мостовой транзисторный преобразователь подъема, преобразователь напора, преобразователь поворота и преобразователь хода, которые работают в режиме ведущий – ведомый.

Активные выпрямители обеспечивают высокий уровень электромагнитной совместимости экскаватора и питающей электрической сети. Коэффициент мощности поддерживается постоянным и равным 1, коэффициент искажений потребляемого тока не превышает 5% [8].

Внешний вид шкафов управления показан на *рис. 2*.

Стабилизатор переменного напряжения. Для потребителей собственных нужд применены специальные мощные (120 кВт) трехфазные стабилизаторы. Цепи управления получают питание от отдельного преобразователя с использованием дополнительного емкостного накопителя энергии, благодаря чему обеспечивается сохранение работоспособности системы управления при отключении силовой сети. Преобразователь реализует несколько алгоритмов регулирования трехфазного напряжения, в том числе «мягкое» включение нагрузки. В результате применения стабилизатора повышаются на-

Рис. 2. Внешний вид шкафов аппаратуры управления главными приводами

дежность работы и ресурс электрооборудования; повышается качество электрической энергии в системе электропитания собственных нужд экскаватора; обеспечивается гарантированное электропитание ответственных систем управления при отключении питающей сети; уменьшается количество силовых компонентов в системе электропитания (трансформаторов, коммутационных аппаратов, кабелей); снижается электропотребление за счет стабилизации напряжения в рабочем режиме и регулирования напряжения при отключенных цепях; снижается пожарная опасность оборудования.

Тиристорные коммутационные устройства применены вместо традиционных контакторов и пускателей для управления компонентами вспомогательного оборудования экскаватора и обеспечивают повышенную надежность аппаратуры в условиях вибраций и действия пыли.

Силовые кабели для электропитания оборудования типа H07RN-F Premium 4G4 (Германия) имеют диапазон рабочих температур от -50°С до +90°С. Безгалогенная резиновая компаундная изоляция кабеля не поддерживает горение и обеспечивает повышенную пожаробезопасность.

Информационно-диагностическая система экскаватора реализована на основе стандартных технических средств автоматизации и типового и специализированного программного обеспечения [13]. Оборудование ИДС включает: монитор оператора *(рис. 3)*; главный компьютер; блок бесперебойного питания; комплект датчиков параметров технологического процесса; концентраторы данных; локальную компьютерную сеть; модемы [14].

Данные, поступающие из ИДС и преобразованные по специальным алгоритмам, выводятся на монитор и сохраняются на сервере. Важная для оценки работы информация запоминается в программных модулях и обрабатывается с целью анализа эффективности работы экскаватора, оценивания его надежности [13]. В процессе работы производится регистрация основных процессов, изменения состояния оборудования, протоколов аварий и др. Данные хранятся на сервере и передаются в центр. Срок хранения записей зависит от вида процесса и типа оборудования. Данные, получаемые с машины, используются разработчиком оборудования для уточнения моделей при проектировании новых машин и коррекции параметров машин, находящихся в эксплуатации.

Современные технические средства измерений и обработки данных позволяют организовать обратную связь от эксплуатации к проектированию, при этом сбор данных осуществляется средствами информационно-диагностических систем (ИДС) промышленных автоматизированных объектов, после чего производятся передача данных ИДС на предприятие-изготовитель и их автоматизированный анализ. При этом реализуется технология получения проектных данных непосредственно с действующего объекта [14].

Основным компонентом взаимодействия персонала и системы является дружественный и удобный в навигации графический интерфейс пользователя. С помощью сенсорного экрана, сочетающего в себе одновременно и аппаратную, и программную части, происходит управление системами экскаватора [14]. Обслуживающий персонал имеет возможность отслеживать все основные показатели работы экскаватора, состояние оборудования, характеристики питающей сети, данные о неисправностях на экскаваторе.

Телекоммуникационная система обеспечивает удаленное наблюдение и управление через сеть Интернет с любого персонального компьютера или мобильного устройства (телефона, планшетного компьютера) при помощи программы удаленного администрирования, установленной на компьютере-мониторе ИДС. Программа позволяет наблюдать процессы и управлять экранами системы, а также имеет возможность пересылки файлов-архивов на компьютер или мобильное устройство удаленного пользователя. Предусмотрена дистанционная настройка приводов, активных выпрямителей и другого оборудования [14].

Рис. 3. Главный экран монитора оператора

Рис. 4. Экскаватор ЭКГ-15 в карьере

РЕЗУЛЬТАТЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА МОДЕРНИЗАЦИИ ЭКСКАВАТОРОВ

Модернизированные экскаваторы ЭКГ-5, ЭКГ-10 и ЭКГ-15, соответственно 3, 7 и 5 машин, введены в эксплуатацию на добывающих предприятиях ГП НГМК во второй половине 2017 г. – начале 2018 г. Работа экскаваторов подтвердила соответствие основных показателей работы расчетным и заявленным в проектной документации значениям [9]. По данным службы эксплуатации определены следующие основные характеристики машин:

– время цикла – 27-29 с;

– удельная энергоемкость экскавации – 0,21 кВт·ч/м^3;

– коэффициент мощности – не менее 0,95;

– коэффициент технической готовности – 0,96.

Потребление электроэнергии сокращено на 40% за счет увеличения КПД приводов главного движения и электрооборудования собственных нужд и усовершенствованных алгоритмов энергосбережения в различных режимах. За счет повышения коэффициента мощности до cosφ ≈ 0,98 снижены потери энергии в питающих сетях в 6-8 раз. Уменьшена чувствительность качества работы экскаватора к отклонениям и колебаниям напряжения в питающей сети, обеспечена устойчивая работа приводов с номинальными параметрами при длительных отклонениях напряжения в питающей сети от +15 до -20% номинального значения. Увеличена надежность работы вспомогательного электрооборудования.

На *рис. 4* показан модернизированный экскаватор ЭКГ-15, работающий в карьере.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мехатронные системы главного движения экскаваторов реализованы на основе современных достижений силовой электроники, микропроцессорной техники и телекоммуникаций. Интеллектуальное управление движением механизмов обеспечивает высокие энергетические и динамические характеристики и индивидуальную коррекцию приводов, исключающую удары и выходы в аварийные зоны.

Применение современных транзисторных преобразователей для управления двигателями постоянного тока позволило уменьшить электропотребление по сравнению с традиционными экскаваторами с приводами по системе генератор – двигатель на 20-30% и снизить удельную энергоемкость экскавации. Коэффициент мощности экскаватора во всех режимах работы поддерживается постоянным и равным заданному значению, за счет чего обеспечивается оптимальная электромагнитная совместимость экскаватора и питающей электрической сети.

Новые информационные системы экскаваторов обеспечивают полный контроль всех основных рабочих параметров, нагрузок на рабочие органы, состояния всех компонентов оборудования, анализ и представление в табличном и графическом виде данных по основным технологическим показателям работы экскаватора (объем отгруженной горной массы, время полезной работы, расход электроэнергии и прочее). Информационные системы содержат модуль удаленного мониторинга. Данные мониторинга на экскаваторе передаются через Интернет на главный сервер интернет-мониторинга. Система удаленного мониторинга экскаватора действует как Windows-приложение и полностью повторяет интерфейс реальной системы, непосредственно работающей на машине. Информационная телекоммуникационная система удаленного наблюдения за работой экскаватора и всех его компонентов обеспечивает создание из отдельных фрагментов единых информационных полей для машинистов, работников добывающих предприятий и изготовителей экскаваторов.

Разработанные системы управления экскаваторами гарантируют высокое качество результатов работы. Системы управления техникой кардинально меняют технологию производства горных работ, позволяя достичь принципиально новых рубежей качества и точности реализации проектов со значительной экономией времени и средств.

Список литературы

1. Awuah-Offei K. (Editor). Energy efficiency in the Minerals Industry: Best Practices and Research Directions, Springer, 2017. 333 p. ISBN 978-3-319-54199-0. doi: 10.1007/978-3-319-54199-0.

2. Levesque M., Millar D., Paraszczak J. Energy and mining – the home truths // Journal of Cleaner Production. 2014. doi: 10.1016/j.jclepro.2013.12.088.

3. Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности в АК «АЛРОСА» (ПАО) / Н.А. Соловьева, А.И. Крашенинников, И.В. Зырянов, А.В. Рыбников // Горное оборудование и электромеханика. 2016. № 2. С. 16-19.

4. Electric or Hydraulic Energy Recovery Systems in a Reach Truck – A Comparison / T. Minav, H. Hänninen, A. Sinkkonen, L. Laurila, J. Pyrhönen // Journal of Mechanical Engineering. 2014. Vol. 60. N 4, Pp. 232-240. doi: 10.5545/sv-jme.2013.1581.

5. Bise C.J. Modern American Coal Mining: Methods and Applications. Published by SME (Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc.). 2013. 576 p.

6. Малафеев С.И., Малафеев С.С., Серебренников Н.А. Компьютерное моделирование мехатронных систем одноковшовых экскаваторов // Горное оборудование и электромеханика. 2011. № 5. С. 24-29.

7. Casson M. Dragline Retrofit for AC Motion Power / «SYMPHOS 2013». 2nd International Symposium on Innovation and Technology in the Phosphate // Procedia Engineering. 2014. N 83. Pp. 86-89. doi: 10.1016/j.proeng.2014.09.017.

8. Malafeev S.I., Novgorodov A.A. Design and implementation of electric drives and control systems for mining excavators // Russian Electrical Engineering. October 2016. Vol. 87. Issue 10. Pp. 560-565. doi: 10.3103/S1068371216100035.

9. Демина Г.А. Горная техника Группы Газпромбанка: Уралмашзавода и ИЗ-КАРТЭКС – на горнодобывающих предприятиях Узбекистана // Горная промышленность. 2017. № 4. С. 40-42.

10. Владимиров Д.Я. Интеллектуальный карьер: Эволюция или революция? // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. Отдельный выпуск. № 45-1. С. 77-82.

11. Курцев Б.В., Жданов А.В. Методологические аспекты создания единого информационного пространства на горнодобывающем предприятии // Горный журнал. 2014. № 4. С. 29-31.

12. Агеев С.С., Реймер А.В. Горное оборудование Уралмашзавода. Екатеринбург: ООО «Форт Диалог-Исеть», 2016. 120 с.

13. Шпрехер Д.М., Бабокин Г.И. Система технического диагностирования электромеханических комплексов // Контроль. Диагностика. 2016. № 3. С. 52-56.

14. Малафеев С.И., Коняшин В.И. Организация мониторинга карьерных экскаваторов // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2017. № 3. С. 201-206.

UDC 621.315.62:621.879.3 © S.I. Malafeev, N.A. Serebrennikov, 2018
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2018, № 10, Pp. 30-34

Title

INCREASING ENERGY EFFICIENCY OF MINING EXCAVATORS THROUGH UPGRADE OF ELECTRICAL EQUIPMENT AND CONTROL SYSTEMS

DOI: http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2018-10-30-34

Authors

Malafeev S.I.[1], Serebrennikov N.A.[1]

[1] "Joint Power Co" LLC, Moscow, 111672, Russian Federation

Authors' Information

Malafeev S.I., Doctor of Engineering Sciences, Professor, Chief Scientific Officer, tel.: +7 (495) 544-46-47, e-mail: sim@jpc.ru

Serebrennikov N.A., General Director, tel.: +7 (495) 558-88-18, e-mail: serebrennikov@jpc.ru

Abstract

The paper presents the results of modernization of mining excavators in the Republic of Uzbekistan carried out by the "Joint Power Co" LLC (Moscow). The project uses innovative technical solutions: DC electric drives with transistor control converters; active rectifiers for power supply of the drive system; modern man-machine interface; computer information-diagnostic system; remote monitoring system. New excavators are currently in operation at the mining enterprises of the Navoi Mining and Metallurgical Combine (Republic of Uzbekistan).

Keywords

Excavator, Mechatronics, Motor, Drive, Controller.

References

1. Awuah-Offei K. (Editor). Energy efficiency in the Minerals Industry: Best Practices and Research Directions, Springer, 2017, 333 p. ISBN 978-3-319-54199-0. doi: 10.1007/978-3-319-54199-0.

2. Levesque M., Millar D. & Paraszczak J. Energy and mining – the home truths. *Journal of Cleaner Production,* 2014. doi: dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.08810.1016/j.jclepro.2013.12.088.

3. Solovyova N.A., Krasheninnikov A.I., Zyryanov I.V. & Rybnikov A.V. Ob energosberezhenii i povyshenii energeticheskoi effektivnosti v AK «ALROSA» (PAO) [On energy saving and energy efficiency increase in ALROSA (PJSC)]. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika – Mining equipment and electromechanics*, 2016, No. 2. Pp. 16-19.

4. Minav T., Hänninen H., Sinkkonen A., Laurila L. & Pyrhönen J. Electric or Hydraulic Energy Recovery Systems in a Reach Truck – A Comparison. *Journal of Mechanical Engineering*, 2014, Vol. 60, No. 4, Pp. 232-240. doi: 10.5545/sv-jme.2013.1581.

5. Bise C.J. Modern American Coal Mining: Methods and Applications. Published by SME (Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc.), 2013, 576 p.

6. Malafeev S.I., Malafeev S.S. & Serebrennikov N.A. Komp'yuternoe modelirovanie mekhatronnykh sistem odnokovshovykh ekskavatorov [Computer simulation of mechatronic systems of single bucket excavators]. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika – Mining equipment and electromechanics*, 2011, No. 5, Pp. 24-29.

7. Casson M. Dragline Retrofit for AC Motion Power / "SYMPHOS 2013". 2nd International Symposium on Innovation and Technology in the Phosphate. *Procedia Engineering,* 2014, No. 83, Pp. 86-89. doi: 10.1016/j.proeng.2014.09.017.

8. Malafeev S.I., Novgorodov A.A. Design and implementation of electric drives and control systems for mining excavators. *Russian Electrical Engineering,* October 2016, Vol. 87, Issue 10, Pp. 560-565. doi: 10.3103/S1068371216100035.

9. Demina G.A. Gornaya tekhnika Gruppy Gazprombanka: Uralmashzavoda i IZ-KARTEKS – na gornodobyvayushchikh predpriyatiyakh Uzbekistana [Mining equipment of Gazprombank Group: Uralmashzavod and IZ-KARTEX – at mining enterprises of Uzbekistan]. *Gornaya Promyshlennost' – Mining Industry,* 2017, No. 4, Pp. 40-42.

10. Vladimirov D.Ya. Intellektual'nyi kar'er: Evolyutsiya ili revolyutsiya? [Intelligent quarry: Evolution or revolution?]. *Gornyy Informatsionno-Analiticheskiy Byulleten' – Mining Information and Analytical Bulletin,* 2015, Separate issue, No. 45-1, Pp. 77-82.

11. Kurtsev B.V. & Zhdanov A.V. Metodologicheskie aspekty sozdaniya edinogo informatsionnogo prostranstva na gornodobyvayushchem predpriyatii [Methodological aspects of creating a single information space in a mining enterprise]. *Gornyy Zhurnal – Mining Journal,* 2014, No. 4, Pp. 29-31.

12. Ageev S.S. & Reymer A.V. *Gornoe oborudovanie Uralmashzavoda* [Mining equipment of Uralmashzavod]. Ekaterinburg, "Fort Dialogue-Iset" LLC, 2016, 120 p.

13. Shpreher D.M. & Babokin G.I. Sistema tekhnicheskogo diagnostirovaniya elektromekhanicheskikh kompleksov [System of technical diagnostics of electromechanical complexes]. *Kontrol'. Diagnostika – Control. Diagnostics,* 2016, No. 3, Pp. 52-56.

14. Malafeev S.I. & Konyashin V.I. Organizatsiya monitoringa kar'ernykh ekskavatorov [Organization of monitoring of mining excavators]. *Naukoemkie tekhnologii razrabotki i ispolzovaniya mineralnykh resursov – High technology of development and use of mineral resources*, 2017, No. 3, Pp. 201-206.

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ – ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ, НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ

JOINT POWER
КОМПАНИЯ Объединенная Энергия

Компания «Объединенная Энергия» - ведущий российский разработчик и поставщик комплектного электрооборудования и систем управления для горных машин.
Компания «Объединенная Энергия» - это современные технические решения, надежность и высокое качество изделий, сопровождение оборудования в течение всего жизненного цикла, обучение специалистов.

Экскаватор ЭКГ-10М с электроприводами переменного тока нового поколения

Высоковольтная перегонная станция

ОСНОВНАЯ ПРОДУКЦИЯ КОМПАНИИ

- Комплектное электротехническое оборудование для горных машин: экскаваторов (мехлопат, драглайнов и роторных машин), буровых станков и земснарядов всех типов.
- Высоковольтное оборудование для горных предприятий (высоковольтные ячейки, приключательные пункты, комплектные трансформаторные подстанции и др.)
- Комплектный электропривод постоянного и переменного тока для горной промышленности и других отраслей.
- Устройства и системы силовой преобразовательной техники различного назначения (выпрямители, инверторы, регуляторы переменного напряжения и др.).
- Приборы и системы контроля и защиты для горного электрооборудования.
- Автономные системы электропитания горных машин при перегонах, в том числе высоковольтные.
- Информационные системы для горных машин с функцией удаленного мониторинга.

РЕКЛАМА

Шкафы управления

Приборы и системы защиты

Гарантийный срок эксплуатации электрооборудования - 4 года

Компания
«Объединенная Энергия»
111672, Москва, а/я 142, тел. +7 (495) 544-46-47, 558-83-83
jp@jpc.ru www.jpc.ru