

С.И. Малафеев, Ю.В. Тихонов

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА

Приведены результаты аналитических исследований и прикладных разработок современных средств автоматики для карьерных экскаваторов нового поколения на основе использования информационных технологий и методов интеллектуального управления.

Ключевые слова: мехатроника, управление, контроль, диагностика, интеллектуальный экскаватор.

Введение

Добыча полезных ископаемых – приоритетная отрасль российской промышленности, являющаяся основой стабильности экономики страны. Для эффективного освоения сырьевой базы страны требуется адекватная техника, позволяющая решать задачу добычи полезных ископаемых при постепенном снижении непосредственного участия человека в технологическом процессе и одновременном повышении надежности техники, и увеличении объемов добычи полезных ископаемых. Современный уровень развития информационных технологий с учетом успехов в смежных отраслях, таких как робототехника и мехатроника, позволяет дать новое решение указанных задач.

В феврале 2011 г. создана Межведомственная секция Научного совета РАН по проблемам горных наук «Интеллектуальное горное предприятие». Суть проекта – создание технологии роботизированной добычи полезных ископаемых. «Интеллектуальный карьер» – технология будущего. Ее применение особенно актуально в труднодоступных местах и в регионах с тяжелыми климатическими условиями. Подобный опыт уже имеют такие страны-лидеры по добыче полезных ископаемых, как Чили и Австралия [1].

Работы по созданию автоматизированной системы добычи полезных

ископаемых на основе роботизированной горной техники включают три взаимосвязанных направления

- качественное совершенствование традиционных экскаваторов на основе использования элементов искусственного интеллекта в управляющих системах;
- создание экскаватора с дистанционным управлением;
- создание полностью автоматического экскаватора-робота.

Создание экскаватора-робота для полностью автоматизированной добычи полезных ископаемых – стратегическая программа, стимулирующая ускоренную разработку и внедрение компонентов интеллектуального управления экскаваторами, интеграция которых обеспечит качественное изменение машины для работы в условиях интеллектуального карьера.

В настоящей работе рассмотрены основные направления создания новых компонентов для интеллектуализации карьерных экскаваторов, развиваемые в ООО Компания «Объединенная Энергия», г. Москва.

Основные задачи «интеллектуализации» экскаваторов

Интеллектуальный экскаватор – это машина с высоким уровнем организации процессов управления, контроля и диагностики, эффективным челове-

ко-машинным и телекоммуникационным интерфейсами, адаптивная к изменяющимся условиям горных работ и гармонично взаимодействующая с системами энергоснабжения, транспорта и автоматизированного управления предприятием [2]. Основные компоненты такой машины:

- мехатронные комплексы с усовершенствованными алгоритмами управления;
- системы интеллектуальной защиты оборудования и персонала;
- информационно-диагностические системы;
- средства и системы телекоммуникаций;
- эффективный человеко-машинный интерфейс;
- программные комплексы обработки, представления и хранения данных.

Все локальные подсистемы экскаватора объединены в единое информационное пространство. Это позволяет

устройствам управления различного уровня выполнять свои функции с учетом событий, происходящих в других подсистемах. Одновременно с этим, предполагается наращивание функциональных возможностей каждой локальной подсистемы в отдельности. Атрибутом интеллектуального экскаватора является взаимодействие с единым информационным пространством предприятия, в котором находятся другие машины горно-транспортного комплекса и персонал.

На рис. 1 показана функциональная схема мехатронного комплекса экскаватора нового поколения, действующего в рамках единого информационного пространства карьера.

Мехатронные комплексы интеллектуального экскаватора

Первый признак «умного» экскаватора – электроприводы главного движения с высоким уровнем организации процессов управления. Это подразу-

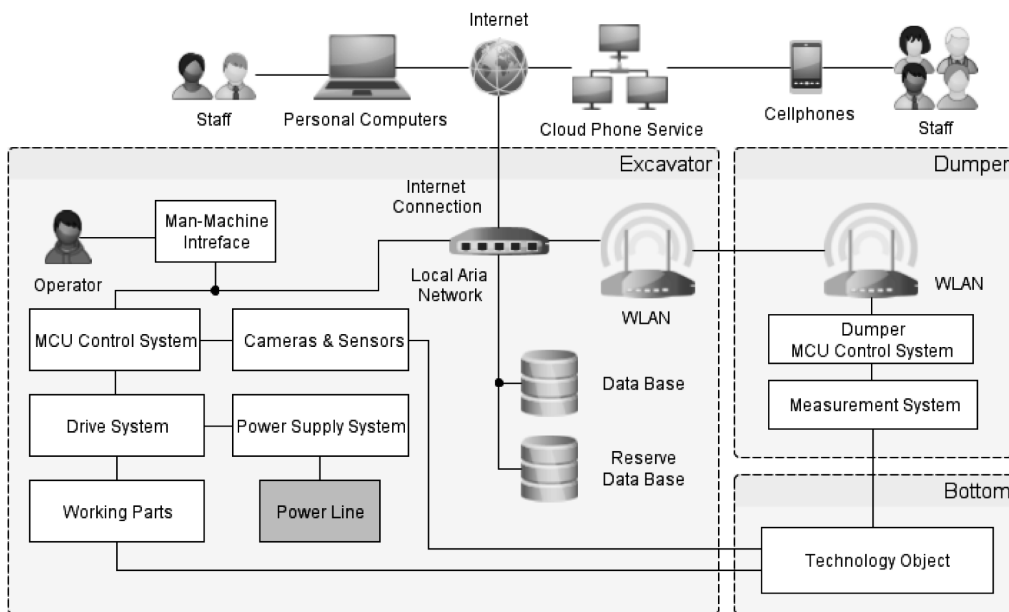


Рис. 1. Функциональная схема управляющего комплекса экскаватора нового поколения

мекает реализацию принципов управления, обеспечивающего наилучшее взаимодействие всех компонентов системы [3], применение адаптивных регуляторов и алгоритмов самонастройки в мехатронных системах; коррекцию и предупреждение ошибочных действий машиниста, защиту от ударов ковша и переподъема, эффективное электропотребление (минимальные потери энергии во всех компонентах, высокий уровень электромагнитной совместимости оборудования, контроль внешней электромагнитной среды).

Электроприводы главного движения новых карьерных экскаваторов реализованы с использованием двигателей постоянного или переменного тока с управлением с помощью транзисторных преобразователей энергии [4]. Сигналы задания формируются с помощью устройства формирования сигнала управления приводами (УФСУП) с учетом ограничений положения ковша. Реальное положение ковша в пространстве вычисляется на основе сигналов энкодеров, установленных на лебедках приводов подъема и напора (тяги) и сравнивается с моделью ограничений [5].

Все электроприводы экскаватора выполнены по единой принципиальной схеме. Задание алгоритма соответствующего привода осуществляется программным способом. В электроприводе поворота применен специальный алгоритм управления, обеспечивающий безударный выбор зазоров путем изменения параметров задатчика интенсивности в функции тока якорной обмотки. В приводе подъема применена специальная обратная связь по току для обеспечения удержания ковша. В приводах организованы защиты, действующие на отключение сигнала управления: максимальная токовая защита; защита от нарушения равенства токов в ветвях; защита от превышения напряжения в звене постоянного тока

и др. Совместная работа группы преобразователей в многодвигательных приводах организована следующим образом. Один из преобразователей является главным и обеспечивает формирование импульсов управления транзисторами в соответствии с алгоритмом замкнутой системы электропривода. Второй преобразователь – подчиненный, сигналом задания для его регулятора тока служит выходной сигнал регулятора напряжения главного электропривода. Главный и подчиненный приводы связаны по шине CAN.

Оценивание динамических характеристик приводов и их автоматизированная настройка производятся с помощью встроенной компьютерной системы со специальным программным обеспечением.

Эффективная работа мехатронного комплекса интеллектуального экскаватора в условиях электрической сети разреза обеспечивается рациональным использованием энергетического ресурса, высокой электромагнитной совместимостью всех компонентов, полным контролем электроэнергетических процессов и применением многофункциональным устройством защиты.

Новый элемент электрической сети – активный выпрямитель, представляет собой регулируемый источник напряжения, питающий локальную сеть постоянного тока экскаватора. Напряжение в звене постоянного тока поддерживается постоянным и практически не зависит от напряжения в сети, как при потреблении, так и в режиме рекуперации. Управление компонентами вектора тока, потребляемого из сети или отдаваемого в сеть, обеспечивает практически синусоидальную форму тока, благодаря чему достигаются наилучшие условия электромагнитной совместимости оборудования. Использование алгоритмов векторного управления позволяет регулировать коэффициент мощности и компенсировать,

таким образом, реактивную мощность во всех режимах [4].

Современный подход к промышленной безопасности состоит в формировании автоматизированных систем управления и защиты как главного элемента единой системы безопасности. Все электрооборудование экскаватора оснащается встроенными приборами защиты, полностью отвечающими двум основным критериям: надежное срабатывание защиты при наступлении опасного события и отсутствие немотивированных остановов оборудования по вине защиты (ложных срабатываний) [6].

Интеллектуальная информационно-диагностическая система

Традиционные системы мониторинга электрооборудования горных машин обеспечивают сбор и обработку данных с датчиков, отображение на операторской панели основных параметров основных параметров технологического процесса и состояние электрического и механического оборудования и регистрацию всех отображаемых параметров в энергонезависимой памяти. Организация технологических экранных страниц предусматривает как параллельное представление всех процессов, так и детальное отображение процессов в отдельных подсистемах с графическими формами данных и параметрами компонентов системы [2].

Обычные способы мониторинга, как правило, направлены на сбор данных и обеспечивают общее предупреждение о прогнозируемом отказе оборудования. Традиционно специалисты оценивают имеющиеся данные на основании технологических тенденций и личного опыта. Решение о ремонте или выполнении технического обслуживания принимается на основании оценки надежности в соответствии с субъективным мнением эксперта. Во многих случаях оценивание ресурса

основывается только на количестве часов работы оборудования с момента начала эксплуатации или последнего технического обслуживания.

Анализ данных оператором или другими специалистами, в том числе с помощью удаленного мониторинга, не обеспечивает желаемой эффективности из-за большого объема информации. Интеллектуальная обработка данных и представление результатов в виде решений и заключений позволяет автоматизировать процессы контроля и диагностики и организовать эксплуатацию машины при минимальных затратах на поиск и обнаружение неисправностей, ремонты и восстановление.

Обработка данных о состоянии, нарушениях и прогнозе дальнейшей работы и остаточном ресурсе опирается на физические и математические модели рабочих процессов [7]. Математические описания разных компонентов и подсистем объекта (двигатели, преобразователи, трансформаторы и др.) имеют принципиально различные структуры, а в горных машинах (экскаваторах, буровых станках, земснарядах) используются десятки подсистем и сотни групп оборудования. Разработка адекватных моделей для разных компонентов машины с учетом специфики их работы в конкретных условиях составляет основную задачу при построении интеллектуальной диагностической системы.

Все основное и вспомогательное оборудование горной машины оснащается подсистемами расширенного мониторинга с полным набором первичных датчиков, программных и технических средств сбора диагностической информации и интеграции в информационно-диагностическую систему (ИДС). Локальные подсистемы расширенного мониторинга для разных компонентов комплектуются вместе с оборудованием и используют подстанционные сред-

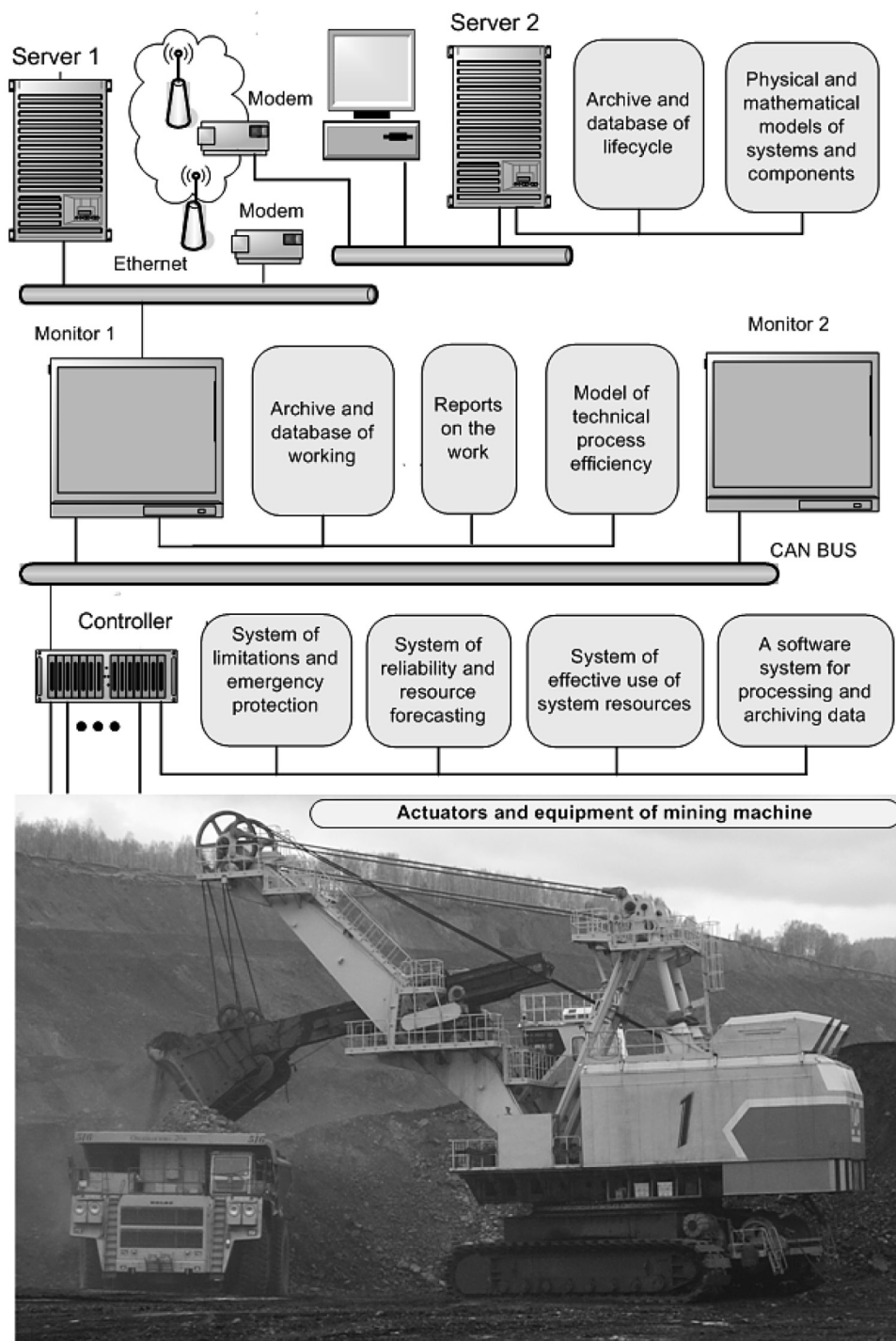


Рис. 2. Функциональная схема системы диагностики на основе моделей рабочих процессов

ства визуализации, архивирования и документирования.

На рис. 2 показана функциональная схема взаимодействия компонентов интеллектуальной системы мониторинга оборудования с использованием моделей рабочих процессов. Локальные системы мониторинга построены на основе специализированных контроллеров или промышленных компьютеров, которые выполняют обработку данных с датчиков, их анализ и архивирование. Модель ограничений и аварийной защиты обеспечивает работу локальных систем защиты оборудования. Модель надежности используется для оценивания текущего состояния оборудования и прогнозирования ресурса на основе текущих и архивных данных. Модель эффективности использования ресурсов системы обеспечивает контроль энергопотребления, оценивание потерь и загрузки компонента. Обработанные данные от всех устройств передаются на сервер машины (сервер 1). Монитор 1, размещенный в кабине машиниста, обеспечивает получение оператором сведений о состоянии машины. Второй монитор размещен в машинном отделении. Контроллеры обеспечивают мгновенную диагностику отказов. Все тревожные сообщения и предупреждения отражаются на мониторах. Уровень локальных подсистем контроля обеспечивает штатное функционирование всех узлов и агрегатов, позволяет вовремя сообщать о замене компонентов или проведении технического обслуживания по состоянию. Программное обеспечение позволяет оценивать эффективность и правильность действий машиниста, выдавая соответствующие рекомендации.

Программно-аппаратный комплекс «Электронный машинист» – это аналитический наблюдатель за работой экскаватора и его подсистем в течение всего жизненного цикла, выполняет

обработку сигналов из ИДС и анализ процессов, состояния оборудования и действий машиниста, на основе анализа формирует объективные данные об эффективности работы машины, формирует базу данных эксплуатации, отражающую историю, состояние и ресурс.

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. 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 существующих.

Информационно-диагностическая система интеллектуального экскаватора подразумевает расширение функциональных возможностей по сравнению с традиционной. ИДС перестает быть «изолированной» от другого оборудования и становится тесно интегрированной с другими системами экскаватора, в рамках единого информационного пространства экскаватора в отдельности и карьера в целом, причем субъекты взаимодействия могут находиться на значительном удалении друг от друга.

Следует отметить, что ИДС нового поколения тесно интегрирована с человеко-машинным интерфейсом, средствами и системами телекоммуникаций (в рамках единого информационного пространства), а также не является строго аппаратной системой, а включает набор программных средств.

Информационно диагностическая система карьерного экскаватора нового поколения строится по топологии распределенной вычислительной сети, в которой каждый компонент экскаватора оснащен собственной локальной ИДС. Локальными ИДС оснащаются электроприводы главного движения, ячейка высоковольтного ввода, силовые трансформаторы, и автоматические выключатели и другое оборудование.

Телекоммуникационная система

Единое информационное пространство (ЕИП) – представляет собой совокупность информационно-телекоммуникационных систем и сетей, баз данных, технологий их ведения и использования, функционирующих на основе единых принципов и по общим правилам, обеспечивающим информационное взаимодействие входящих в него подсистем [8]. Применительно к ИЭ, аппаратная реализация единого информационного пространства включает:

- локальные ИДС [9];
- ЭВМ уровней АСУ ТП и АСУП;
- локальные серверы баз данных;
- коммутаторы, концентраторы, маршрутизаторы;
- интерфейсные устройства (сетевые карты, беспроводные точки доступа);
- Internet-модемы, Firewalls, VPN-серверы;

- среду передачи данных (сетевые кабели, антенны и т.д.)

Основной идеей реализации ЕИП является стандартизация протоколов сетевого взаимодействия между различными его узлами, это позволит в частности удаленно обращаться непосредственно к локальным ИДС в обход АСУ ТП. При этом АСУ ТП может инициировать подобное соединение.

Единое информационное пространство карьера – многоуровневая архитектура, где первым уровнем является ЕИП машин, а вторым – ЕИП карьера в целом.

Примером сценария взаимодействия в рамках ЕИП карьера является взаимодействие машины и персонала. Для этих целей разработана система оперативного информирования посредством телефонной связи, структурная схема системы приведена на рис. 3.

Очевидным преимуществом технологии телефонной связи является ее практически круглосуточная доступность, ведь у современного человека, сотовый телефон в отличие от персонального компьютера всегда находится под рукой. Это преимущество, несомненно, способствует повышению оперативности диагностирования неполадок в работе экскаватора и как следствие их скорейшему устранению.

На стороне экскаватора организация подобной системы сталкивается с отсутствием телефонии в классическом ее понимании. Однако на сегод-

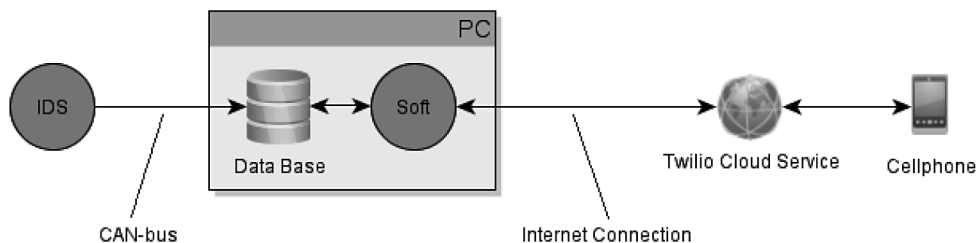


Рис. 3. Структурная схема системы оперативного информирования персонала карьера посредством телефонии и SMS-сообщений

нышний день существует множество «облачных» сервисов телефонии обеспечивающих все необходимые функции посредством Internet-соединения. К таким функциям относятся: прием и передача SMS, автоответчик, обратный звонок и др. Одним из наиболее популярных облачных сервисов телефонной связи является Twilio, однако у него существуют как зарубежные, так и российские аналоги, среди последних, можно отметить SMSAero и SMS Центр.

Система телефонной связи с экскаватором использует интеллектуальный алгоритм сбора и обработки данных:

- при получении данных из БД, осуществляется предварительная обработка, направленная на сокращение потока данных между ПО и БД;

- над полученными данными осуществляется математическая обработка, направленная на расчет параметров характеризующий работу машины;

- параметры, рассчитанные на предыдущем этапе подвергаются логической обработке: если хотя бы один из качественных показателей работы экскаватора (или одной из его подсистем) выходит за пределы интервала нормальных значений, то формируется предупредительное сообщение, если же, хотя бы один из этих показателей выходит за пределы интервала допустимых значений, то формируется сообщение об аварии;

- обработка на уровне логических правил пригодна лишь для анализа простых ситуаций, в более сложных

случаях, для выявления причин неполадок используются нейронные сети, построенные по топологии рекуррентного двухслойного персептрона;

- последним этапом является рассылка предупредительных SMS-сообщений сотрудникам горнодобывающего комплекса, ответственным за подсистему экскаватора, в которой обнаружилась проблема.

Заключение

Экскаваторы нового поколения, использующие современные управляющие системы, реализуют элементы искусственного интеллекта, обеспечивающие повышение эффективности горных работ на основе использования достижений информационных технологий, мехатроники и телекоммуникаций. Применение мехатронных комплексов главного движения, компьютерных ИДС, современных средств защиты, средств передачи данных на экскаваторах позволяет повысить их технический уровень, снизить затраты на наладки и ремонт, снизить энергопотребление, а также сократить периоды простоя техники.

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. *Интеллектуальный карьер. Будущее горных технологий. VIST Mining Technology [Электронный ресурс]* http://navitoring.ru/upload/medialibrary/9a1/navitoring_2013_vist_group.pdf (Дата обращения: 20.07.2014).

2. Малафеев С.И., Тихонов Ю.В. Компоненты интеллектуального управления для

карьерных экскаваторов // Автоматизация в промышленности. – 2013. – № 10. – С. 33–37.

3. Малафеев С.И., Малафеева А.А. Основы автоматизации и системы автоматического управления. – М.: Академия, 2010.

4. Малафеев С.И., Новгородов А.А., Серебрянников Н.А. Новый экскаватор ЭКГ-18Р:

система приводов постоянного тока с широтно-импульсной модуляцией // Горное оборудование и электромеханика. – 2012. – № 6. – С. 21–25.

5. Малафеев С.И., Анучин А.В., Серебренников Н.А. Экскаватор ЭШ-11/75: Новая система управления приводами // Горное оборудование и электромеханика. – 2013. – № 2. – С. 14–18.

6. Малафеев С.И., Копейкин А.И. Надежность технических систем. Примеры и задачи. – СПб.: Лань, 2012. – 320 с.

7. Малафеев С.И. Тихонов Ю.В. Автоматизация диагностики электрооборудования

горных машин на основе моделирования рабочих процессов // Автоматизация в промышленности. – 2014. – № 7. – С. 9–18.

8. Единое информационное пространство – Life-Prog [Электронный ресурс] http://life-prog.ru/view_zam2.php?id=104&cat=4&page=1 (Дата обращения: 19.07.2014).

9. Тихонов Ю.В. Разработка программного комплекса для интеллектуального экскаватора / XXXIX Международная молодежная научная конференция «Гагаринские чтения». Научные труды международной молодежной научной конференции в 8-ми т. Т. 1. – М.: МАТИ, 2013. – С. 179–180. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Малафеев С.И. – ООО Компания «Объединенная Энергия»,

Тихонов Ю.В. – Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых.

UDC 621.879

INTELLECTUALIZATION OF A CAREER EXCAVATOR

Malafeev S.I., Join Power technology Co., Ltd, Russia,

Tikhonov Yu.V., Vladimir State University A.G. and N.G. Stoletovs, Vladimir, Russia.

This article presents the results of analytical research and applications of modern automation systems for new generation mining shovels through the use of information technologies and methods of intelligent control.

Key words: mechatronics, control, monitoring, diagnostics, intelligent excavator.

REFERENCES

1. *Intellektual'nyy kar'er. Budushchee gornyykh tekhnologiy*. VIST Mining Technology, available at: http://navitoning.ru/upload/medialibrary/9a1/navitoning_2013_vist_group.pdf (accessed: 20.07.2014).

2. Malafeev S.I., Tikhonov Yu.V. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti*. 2013, no 10, pp. 33–37.

3. Malafeev S.I., Malafeeva A.A. *Osnovy avtomatiki i sistemy avtomaticheskogo upravleniya* (Fundamentals of automation and automated control systems), Moscow, Akademiya, 2010.

4. Malafeev S.I., Novgorodov A.A., Serebrennikov N.A. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2012, no 6, pp. 21–25.

5. Malafeev S.I., Anuchin A.V., Serebrennikov N.A. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2013, no 2, pp. 14–18.

6. Malafeev S.I., Kopeykin A.I. *Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem. Primery i zadachi* (Reliability of engineering systems. Examples and problems), Saint-Petersburg, Lan', 2012, 320 p.

7. Malafeev S.I. Tikhonov Yu.V. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti*. 2014, no 7, pp. 9–18.

8. *Edinoe informatsionnoe prostranstvo Life-Prog*, available at: http://life-prog.ru/view_zam2.php?id=104&cat=4&page=1 (accessed: 19.07.2014).

9. Tikhonov Yu.V. XXXIX Mezhdunarodnaya molodezhnaya nauchnaya konferentsiya «Gagarinskije chteniya». Nauchnye trudy mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii. T. 1 (XXXIX International Youth Conference – Gagarin's Lectures. Proceedings, vol. 1), Moscow, MATI, 2013, pp. 179–180.

