

КОМПОНЕНТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

С.И. Малафеев (ООО Компания «Объединенная Энергия»),

Ю.В. Тихонов (ВлГУ им. А.Г. и Н.Г. Столетовых)

Приводятся результаты аналитических исследований и прикладных разработок современных средств автоматизации для карьерных экскаваторов на основе использования информационных технологий и методов интеллектуального управления. Рассматриваются основные направления «интеллектуализации» экскаваторов и новые решения ведущих разработчиков в этой области.

Ключевые слова: автоматизация, интеллектуальное управление, адаптивная система, экскаватор, микропроцессор, диагностика, мониторинг, мехатроника.

Введение

Горная промышленность является первой в перечне отраслей промышленности, для которых актуально создание и внедрение прогрессивных систем автоматизации. Важнейшим условием обеспечения независимой политики страны при освоении сырьевых ресурсов является принципиальная модернизация существующего парка оборудования и создание новых машин, по техническому уровню не уступающих зарубежным образцам [1]. Перспективным направлением развития горной промышленности является организация интеллектуальных предприятий. «Интеллектуальный карьер» – технология будущего, реализующая роботизированную добычу полезных ископаемых. 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, Канада и Австралия. В России также начаты и ведутся работы по созданию уникальной автоматизированной системы добычи полезных ископаемых на основе роботизированной горной техники. Прогнозируется, что применение такого подхода позволит не только повысить производительность труда на 10...15 % за счет эффективности использования горной техники, но и приведет к сокращению нетехнологических простоев машин и снижению затрат на проведение внеплановых ремонтных работ карьерной техники. При помощи дистанционного управления можно будет направлять роботизированные погрузочные машины в труднодоступные места, где даже при соблюдении всех требований техники безопасности существует потенциальная возможность обрушения горной массы.

Карьерный экскаватор – основная машина на разрезе.

Поэтому реализация «Интеллектуального карьера» возможна только на основе использования новых машин с высокоэффективным интеллектуальным управлением.

Основные задачи «интеллектуализации» экскаваторов

При традиционном ручном управлении сложной и высокопроизводительной карьерной техникой в специфических условиях горных работ невозможно постоянно вести процесс добычи при предельных скоростях и мощностях. Это существенно уменьшает производительность машин. В современных условиях, когда добывающим предприятиям требуется максимально эффективное использование горной техники с целью повышения рентабельности и безопасности ведения горных работ, единственным решением проблемы является автоматизация и интеллектуализация управления, помогающие машинисту или заменяющие его при выполнении операций технологического цикла.

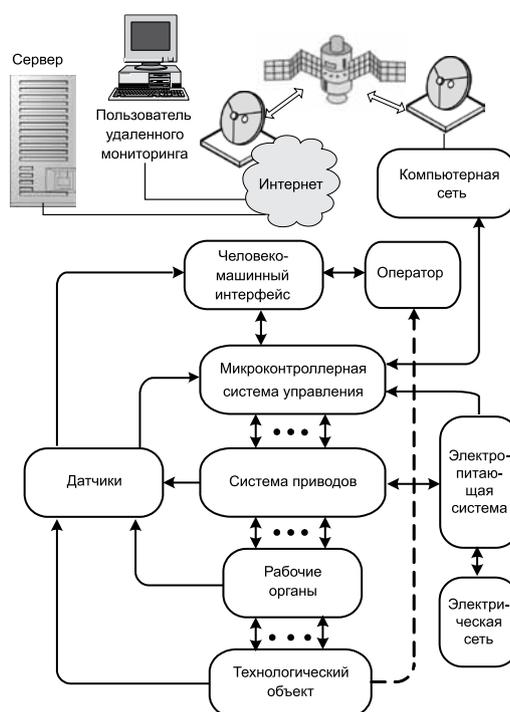


Рис. 1. Функциональная схема мехатронного комплекса экскаватора

Современный уровень развития информационных технологий с учетом успехов в смежных отраслях, таких как робототехника и мехатроника, позволяет разработать новое решение указанных задач. Иностранные компании активно используют новые информационные технологии и интеллектуальное управление на своих машинах. Начиная с 2005 г., в основе всей технологии компании P&N (подразделение Joy Global Inc.) лежит система управления и сбора данных Centurion. Аппаратные и программные компоненты этой системы специально разработаны для создания высокоэффективной и тесно увязанной сети контроля, управления и передачи данных. Система позволяет осуществлять высокотехнологичный доступ и управление системой

приводов, минимизировать время цикла, анализировать производительность экскаватора, контролировать действия оператора, а также частично автоматизировать управление экскаватором, что приводит к значительному увеличению производительности машины.

Интеллектуальный экскаватор — это машина с высоким уровнем организации процессов управления, контроля и диагностики, эффективным человеко-машинным и телекоммуникационным интерфейсами, адаптивная к изменяющимся условиям горных работ и гармонично взаимодействующая с системами энергоснабжения, транспорта и автоматизированного управления предприятием.

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. К таким компонентам относятся:

- 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.

Основные компоненты для экскаваторов нового поколения проектируются и реализуются в настоящее время рядом организаций в России, в том числе Компанией «Объединенная Энергия» (Москва).

На рис. 1 показана функциональная схема мехатронного комплекса экскаватора нового поколения, включающая компоненты: электропитающую систему, электромеханические преобразователи энергии, силовые преобразователи управления двигателями, механизмы и рабочие органы, информационно-измерительную систему, систему управления движением, телекоммуникационную систему. Управление приводами осуществляется путем регулирования потока электрической

энергии в зависимости от команд машиниста и нагрузок.

Интеллектуализация мехатронных комплексов экскаваторов

Первый признак «умного» экскаватора — электроприводы главного движения с высоким уровнем организации процессов управления. Это подразумевает реализацию принципов управления, обеспечивающего наилучшее взаимодействие всех компонентов системы [2], 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).

На рис. 2 показана типовая функциональная схема электропривода главного движения нового экскаватора, разработанная Компанией «Объединенная Энергия» [3]. Электроприводы напора, подъема и поворота

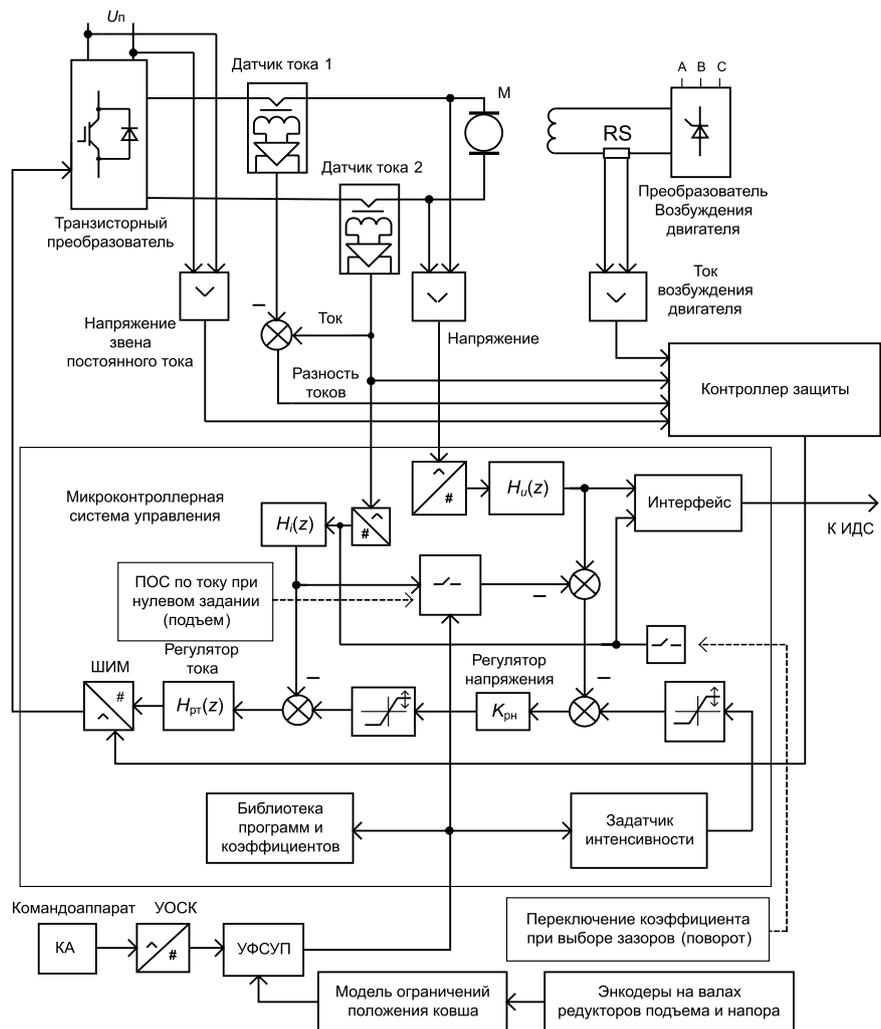


Рис. 2. Функциональная схема привода главного движения, где УОСК — устройство обработки сигналов командоаппаратов; $H_u(s)$ и $H_i(s)$ — передаточные функции преобразователей напряжения и тока; $H_{pt}(s)$ — передаточная функция регулятора тока

реализованы по принципу подчиненного регулирования координат. Главная обратная связь замкнута по напряжению якорной обмотки двигателя постоянного тока. Внутренний подчиненный контур выполняет регулирование тока якорной обмотки двигателя. Регулирование выходного напряжения мостового транзисторного преобразователя управления двигателем осуществляется путем широтно-импульсной модуляции. Сигнал задания формируется 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 [4].

В приводе использованы адаптивный пропорционально-интегральный регулятор тока и пропорциональный регулятор напряжения. Система управления обеспечивает формирование специальной экскаваторной характеристики привода. С целью улучшения динамических характеристик системы использованы нелинейный задатчик интенсивности и нелинейная обратная связь по току.

Все электроприводы выполнены по одной принципиальной схеме. Задание алгоритма соответствующего привода осуществляется программным способом. В электроприводе поворота применен алгоритм управления, обеспечивающий безударный выбор зазоров путем изменения параметров задатчика интенсивности в функции тока якорной обмотки. В приводе подъема применена положительная обратная связь по току для обеспечения удержания ковша. В приводе 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.

Совместная работа группы преобразователей 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 ПО.

Актуальной задачей является реализация системы управления приводами на основе определения координат и ориентации экскаватора на рабочем объекте с помощью спутниковых систем GPS и ГЛОНАСС. Аналогичные системы, использующиеся в настоящее время, разработаны компанией TOPCON на строительных экскаваторах [5].

Новые системы управления электроснабжением экскаватора

Главный приоритет в мехатронном комплексе экскаватора имеет система электропитания, обеспечивающая его эффективную работу во всех режимах. Экскаватор как элемент электрической сети относится к категории нагрузок повышенной сложности. Это объясняется электропитанием от передвижных линий, имеющих переменные сопротивления; высокочастотным циклическим режимом работы при чередовании потребления и рекуперации энергии; большой единичной потребляемой мощностью, взаимным влиянием потребителей, получающих питание от одного источника; повышенной опасностью поражения персонала электрическим током и возникновения других аварий.

Эффективная работа интеллектуального экскаватора в условиях электрической сети разреза обеспечивается рациональным использованием энергетического ресурса, высокой электромагнитной совместимостью всех компонентов, полным контролем электроэнергетических процессов и применением многофункциональных устройств 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 [3].

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, 7].

Информационные диагностические системы

Информационно-диагностическая система (ИДС) включает: монитор оператора, главный компьютер, блок бесперебойного питания, комплект датчиков параметров ТП, концентраторы данных, локальную компьютерную сеть, модемы. ИДС предназначена для сбора, обработки и представления информации потребителю об основных показателях ТП экскава-

ции, для автоматизации контроля за работой оборудования, для вычисления, хранения, визуализации и документирования учитываемых показателей работы экскаватора. Основными функциями этой системы являются:

- контроль ТП экскавации и состояния оборудования экскаватора;
- учет электропотребления, отгруженной массы, числа циклов, времени работы и др. показателей;
- регистрация и анализ аварийных и нештатных ситуаций;
- оперативная настройка электрооборудования (приводов и других устройств);
- дружественный человеко-машинный интерфейс;
- информационная поддержка оператора;
- связь с верхним уровнем управления АСУ разреза;
- связь с производителями экскаватора и низковольтных комплектных устройств с использованием глобальной компьютерной сети.

Система позволяет анализировать производительность экскаватора, а также частично автоматизировать управление экскаватором, что приводит к значительному увеличению производительности машины.

Важным компонентом взаимодействия персонала и системы является дружественный и удобный графический интерфейс пользователя. С помощью сенсорного экрана, сочетающего одновременно и аппаратную, и программную части, происходит управление системами экскаватора.

Обслуживающий персонал имеет возможность отслеживать следующие показатели: состояние экскаватора и угол его наклона; температуру подшипников и масла в электродвигателях; данные о производительности экскаватора; информацию о неисправностях на экскаваторе.

Электронный машинист — специальная программно-аппаратная система постоянного контроля работы экскаватора и его отдельных компонентов и формирования объективных данных обо всех системах экскаватора, включая самого машиниста, окружающей среде, системе электропитания. «Электронный машинист» — это аналитический наблюдатель за работой экскаватора и его подсистем в течение всего жизненного цикла.

Программно-аппаратный комплекс «Электронный машинист» выполняет обработку сигналов из ИДС и анализ процессов, состояния оборудования и действий машиниста, на основе анализа формирует данные о работе машины, отражающие историю, состояние и прогноз ресурса компонентов.

Оперативные данные поступают из ИДС и преобразуются по специальным алгоритмам для удобного восприятия и эффективного анализа аварийных ситуаций, оперативного контроля состояния оборудования, электропитающей сети. Данные 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.

В процессе работы экскаватора на основе регистрации процессов производится:

- анализ динамических и статических характеристик экскаватора;
- оценивание энергетических характеристик (энергопотребление за цикл);
- анализ электроэнергетических процессов в питающей сети.

Предусматривается:

- автоматическая коррекция настроечных параметров приводов, формирование рекомендаций по настройке, переключение программ;
- формирование рекомендаций по замене или ремонту компонентов на основании исчерпания ресурса;
- формирование документов о качестве электроэнергии

Виртуальный экскаватор — информационная телекоммуникационная система удаленного наблюдения за работой экскаватора и всех его компонентов. Обеспечивает создание из отдельных фрагментов единых информационных полей для машин, добывающих предприятий и изготовителей машин.

Телекоммуникационная система

Телекоммуникационная система включает три уровня [8].

1. Мониторинг и сбор данных на реальной системе. В систему включен модуль поддержки удаленного мониторинга. Функционирует как отдельный поток. Канал связи с сервером удаленного мониторинга абсолютно прозрачен для системы и может быть любым (выделенный, сотовый, спутниковый, модемный и пр.)

2. Сервер Internet-мониторинга на базе Microsoft IIS. На сервере функционирует Web-модуль (dll-библиотека IS API Application, написана на Delphi XE), через который и осуществляется удаленный мониторинг реальных систем.

3. Система удаленного мониторинга. Существует как Windows приложение. Полностью повторяет интерфейс реальной системы, непосредственно работающей на машине, но получает данные мониторинга через Internet от сервера Internet-мониторинга. Может работать в любой точке мира по каналу Internet.

Канал связи, по которому может осуществляться связь с сервером мониторинга, должен удовлетворять минимальным требованиям — ≥ 9600 бод (GPRS и WAP удовлетворяют этим требованиям). Для органи-

зации канала требуется только Internet-модем сотового оператора, который присутствует на месте работы машины, или спутниковый модем. Система сама устанавливает связь с сервером Internet-мониторинга. Месячный трафик — ≤300 Мб на реальную систему (при 12-часовой работе с интервалом мониторинга 5 с).

Заключение

Экскаваторы нового поколения, использующие современные управляющие системы, обеспечивают повышение эффективности горных работ на основе использования достижений информационных технологий, мехатроники и телекоммуникаций. Успешное применение мехатронных комплексов главного движения, компьютерных информационно-диагностических систем, современных средств защиты, аппаратных и программных средств передачи, обработки и анализа данных и др. на экскаваторах ООО «ИЗКАРТЭКС» и ОАО «Уралмашзавод» позволило повысить технический уровень отечественных машин, снизить затраты на наладку и ремонты, снизить в 1,5...2 раза удельную энергоёмкость экскавации. Дальнейшее развитие интеллектуальных систем управления горной техникой с учетом достижений в смежных отраслях позволит дать новое решение задач управления промышленным оборудованием со значительной экономией времени и средств.

Успехи информационных технологий обеспечили им ведущее место практически во всех областях деятельности человека. Вместе с тем, перспективы развития интеллектуальных систем автоматического управления для горных машин дают основания по-

лагать, что время главных достижений в этой области еще впереди.

Список литературы

1. Малафеев С.И., Серебрянников Н.А. Создание электрооборудования и систем управления для экскаваторов на основе мехатронной технологии // Горное оборудование и электромеханика. 2007. № 12.
2. Малафеев С.И., Малафеева А.А. Основы автоматизации и системы автоматического управления. М. Академия. 2010.
3. Малафеев С.И., Новгородов А.А., Серебрянников Н.А. Экскаватор ЭКГ-12К: новая система управления на основе IGBT-технологии // Горное оборудование и электромеханика. 2010. № 11.
4. Малафеев С.И., Анушин А.В., Серебрянников Н.А. Экскаватор ЭШ-11/75: Новая система управления приводами // Горное оборудование и электромеханика. 2013. № 2.
5. Калабин Е.В. Системы управления экскаваторами TOPCON 3DXI // Строительная техника и технологии. 2007. №2.
6. Малафеев С.И., Мамай В.С., Микрюков В.И., др. Микроконтроллерное устройство для защиты электрической сети от однофазных замыканий на землю // Электротехника. 2000. №1.
7. Малафеев С.И., Малафеев С.С., Серебрянников Н.А. Применение прогнозирующей модели для непрерывного контроля сопротивления изоляции и защиты электрической сети // Контроль, диагностика. 2012. № 10.
8. Малафеев С.И., Афанасьев П.М., Студеникин В.А. Информационно-диагностическая система бурового станка / Автоматизация в промышленности. 2012. №9.

Малафеев Сергей Иванович — д-р техн. наук, проф., главный научный сотрудник

ООО «Компания Объединенная Энергия», Тихонов Юрий Васильевич — аспирант Владимирского государственного университета им. А. Г. и Н. Г. Столетовых.

Контактный телефон (495) 558-88-18.

E-mail: sim_vl@nm.ru

НОВАЯ КНИГА

Ицкович Э.Л. Методы комплексной автоматизации производства предприятий технологических отраслей
М: КРАСАНД. 2013. 232 с. ISBN 978-5-396-00529-7

В книге рассматривается актуальное направление современной комплексной автоматизации производства: создание так называемой «Manufacturing Execution System» (MES) — информационной, коммуникационной и управляющей системы производственной среды предприятия. Близкие из решаемых в MES задач, ранее в российских публикациях, именовались «Автоматизированная система управления производством» (АСУП).

Анализируются функции, алгоритмы, структуры, методы построения, внедрения и эксплуатации отдельных компонентов MES на предприятиях технологического типа:

- системы контроля и учета работы производства;
- системы сведения материального баланса;
- систем обслуживания и ремонта оборудования разных классов;
- системы автоматизации деятельности лаборатории предприятия;
- систем учета и управления электро- и теплоресурсами;
- системы календарного планирования и оперативного управления производством.



Приводятся особенности распространяемых на российских предприятиях инструментальных, программных и технических средств построения компонентов MES разных производителей.

Уделяется внимание типичным недостаткам внедрения компонентов MES на российских предприятиях и тем организационным мероприятиям, которые поддерживают эффективное функционирование компонентов MES.

Изложение материала рассчитано на сотрудников служб КИПиА и ИТ предприятий, на специалистов проектных организаций, на разработчиков компонентов MES, на системных интеграторов в области автоматизации.

Книга будет полезна преподавателям, аспирантам, научным работникам, специализирующимся в области автоматизации производства, поскольку в ней дан современный анализ состояния в этой области и приведены методы решения ряда актуальных задач, касающихся разработки, внедрения и функционирования MES. Она

может быть использована в качестве учебного пособия по курсам автоматизации.

Контактный телефон (495) 334-90-21.

E-mail: itskov@ipu.ru