

ГОРНАЯ МЕХАТРОНИКА: 35 ЛЕТ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОМПАНИИ «ОБЪЕДИНЕННАЯ ЭНЕРГИЯ»

С.И. Малафеев^{1,2}, Н.А. Серебренников¹

¹ ООО Компания «Объединенная Энергия», Москва, Россия, e-mail: simalafeev@gmail.com

² Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых
Министерства науки и высшего образования РФ, Владимир, Россия

Аннотация: Рассмотрены основные направления научной и инженерной деятельности ООО «Компания «Объединенная Энергия» и разработки мехатронных систем для карьерных экскаваторов, буровых станков, автосамосвалов, земснарядов нового поколения. Для электроприводов переменного тока применительно к векторной системе с наблюдателем на основе расширенного фильтра Р. Калмана разработаны способы управления при низких скоростях, ограничения мощности при слабой питающей сети, оптимизации энергетических характеристик, а также способы идентификации параметров асинхронных машин при заторможенном роторе и сопротивлений консольной электрической линии, питающей экскаватор. Мехатронные комплексы обеспечивают высокие производительность, коэффициент технической готовности и уровень электромагнитной совместимости горных машин. Информационная система «Пульсар» обеспечивает диагностику компонентов машины с интеллектуальной обработкой данных, регистрацию всех процессов и документирование показателей работы машины, удаленный мониторинг. Для распределения электроэнергии подключения горных машин к питающим сетям напряжением 6 кВ и 10 кВ разработаны комплектные контейнерные трансформаторные подстанции, распределительные и приключательные пункты, оснащенные микроконтроллерными многофункциональными системами контроля и защиты. Испытательное оборудование, разработанное в Компании, позволяет выполнять исследование характеристик отдельных компонентов: двигателей, преобразователей и средств управления, а также электроприводов в различных тестовых режимах. Представлены результаты проектирования и внедрения перспективных средств автоматизации и управления горными машинами. Приводятся сведения о промышленной продукции предприятия.

Ключевые слова: горное дело, мехатроника, электроника, автоматика, экскаватор, буровой станок, автосамосвал, земснаряд, мониторинг, надежность, эффективность, безопасность.

Для цитирования: Малафеев С. И., Серебренников Н. А. Горная мехатроника: 35 лет научно-производственной деятельности компании «Объединенная энергия» // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2026. – № 1. – С. 168–181. DOI: 10.25018/0236_1493_2026_1_0_168.

Mining mechatronics: 35 years of research and production at «Joint Power» company

S.I. Malafeev^{1,2}, N.A. Serebrennikov¹

¹ «Joint Power» Co, Ltd, Moscow, Russia, e-mail: simalafeev@gmail.com

² Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs,
Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Vladimir, Russia

Abstract: This article examines the main areas of scientific and engineering activities at «Joint Power» Company, Ltd, and the development of mechatronic systems for new-generation mining excavators, drilling rigs, dump trucks, and dredgers. For AC electric drives, applied to a vector system with an observer based on an extended Kalman filter, methods have been developed for low-speed control, power limiting in the presence of weak power grids, and optimization of energy characteristics. Methods have also been developed for identifying the parameters of asynchronous machines with a locked rotor and the resistance of the overhead power line supplying the excavator. Mechatronic systems ensure high productivity, technical availability, and electromagnetic compatibility of mining equipment. The «Pulsar» information system provides diagnostics of machine components with intelligent data processing, recording of all processes and documentation of machine performance, and remote monitoring. Complete containerized transformer substations, distribution and switching points, equipped with microcontroller-based multifunctional control and protection systems, have been developed for power distribution and connecting mining machines to 6 kV and 10 kV power grids. Test equipment developed by the Company allows for the characterization of individual components: motors, converters, and controls, as well as electric drives, in various test modes. The design and implementation results of advanced automation and control systems for mining equipment are presented. Information on the company's industrial products is provided.

Key words: mining, mechatronics, electronics, automation, excavator, drilling rig, dump truck, dredger, monitoring, reliability, efficiency, safety.

For citation: Malafeev S. I., Serebrennikov N. A. Mining mechatronics: 35 years of research and production at «Joint Power» company. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2026;(1):168-181. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2026_1_0_168.

Введение

В январе 2026 г. Компания «Объединенная Энергия», российский лидер технических решений для горных машин, отмечает свой 35-летний юбилей. В январе 1991 г. группа научных сотрудников Института горного дела имени А.А. Скочинского с целью эффективной реализации творческого потенциала организовала малое самостоятельное инженерное предприятие. К участию в решении актуальных задач в горной промышленности были привлечены спе-

циалисты из разных организаций. Сформировалось и соответствующее название — Компания «Объединенная Энергия». Становление и развитие Компании происходило в исторический период качественных преобразований в технике автоматического управления и перехода горного машиностроения на новый технологический уровень [1]. В этих условиях вся деятельность предприятия была направлена на развитие прикладной теории процессов управления в сложных технических системах. Новые

подходы к реализации цифровых средств управления для горных машин, основанные на использовании микроконтроллеров, компьютеров, телекоммуникационных устройств и полупроводниковых компонентов, обеспечили успешное решение различных задач автоматизации и информатизации в добывающей промышленности. Практически для всех типов электрооборудования и машин открытых горных работ предложены и реализованы новые технические решения. Сотрудниками Компании выполнено более двух тысяч проектов, создано более 160 изобретений, защищенных авторскими свидетельствами и патентами.

Энтузиазм и оригинальный творческий подход к решению различных задач — от модернизации действующего оборудования до создания принципиально новых систем управления, были поддержаны на разрезах и ведущих промышленных предприятиях горного машиностроения — ОАО «Бузулукский завод тяжелого машиностроения», заводе «Рудгормаш» (г. Воронеж), ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова», ПАО «Уральский завод тяжелого машиностроения», ЗАО «Цимлянский судомеханический завод» и др. В новых экономических условиях происходило формирование Компании как научно-производственного предприятия, реализующего интеграцию научных исследований, опытно-конструкторских работ и производства [2]. Быстрый рост количества выполняемых проектов и объемов поставляемых на предприятия изделий обеспечил развитие структуры организации. В 2022 г. за счет собственных средств построено новое здание Компании. Созданы и функционируют научно-инновационный и конструкторский отделы, отделения проектирования мехатронных систем и высоковольтного оборудования, испытательный центр,

производственные цеха и подразделения. Совместно с кафедрой «Энергетика и энергоэффективность горной промышленности» НИТУ МИСИС ведется обучение и повышение квалификации специалистов. На основе выполняемых научных исследований осуществляется подготовка кадров высшей квалификации.

В статье приведены данные о важнейших результатах работы Компании «Объединенная Энергия».

Мехатронные системы карьерных экскаваторов

В электрических приводах карьерных экскаваторов в XX столетии использовались двигатели постоянного тока с управлением с помощью генераторов постоянного тока [3]. Низкие КПД приводов и надежность коллекторных электрических машин, ограниченные динамические характеристики традиционной системы и новые возможности силовой преобразовательной техники послужили причиной принципиального обновления — как технических средств управления, так и методологии их проектирования [4]. Новая концепция теории и практики мехатронных систем одноковшовых экскаваторов основана на принципе гармоничного управления процессами в сложной мультифизической системе и обеспечивает машине новые свойства в плане реализации управляемого движения [4, 5].

В 2008 г. был разработан и реализован для экскаватора ЭКГ-5А первый в мировой практике мехатронный комплекс с системой приводов «активный выпрямитель — широтно-импульсный преобразователь — двигатель постоянного тока». Замена электромашинной группы на полупроводниковые преобразователи энергии обеспечила повышение КПД и улучшение динамических характеристик системы приводов, сни-

жение удельного электропотребления, стабилизацию коэффициента мощности, повышение надежности. Экскаватор был успешно введен в эксплуатацию в ОАО «Апатиты». Новое техническое решение мехатронного комплекса было применено для других экскаваторов: ЭКГ-10, ЭКГ-12, ЭКР-15 и ЭКГ-18Р. В течение 15 лет Компанией было изготовлено и внедрено 82 низковольтных комплектных устройства для новых машин производства ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова» и ПАО «Уралмашзавод» и модернизации работающих экскаваторов. В 2016 – 2017 гг. по проекту «Повышение энергоэффективности промышленных предприятий Республики Узбекистан (ПЭЭП)» было оснащено новыми системами управления 15 карьерных экскаваторов на Навоийском горно-металлургическом комбинате (Узбекистан).

В 2012 г. Компания приступила к проектированию и производству мехатронных комплексов для одноковшовых экскаваторов с приводами переменного тока. Для решения этой задачи

совместно с Концерном Русэлпром с использованием прогрессивных методик расчетов в кратчайшие сроки была разработана новая экскаваторная серия асинхронных двигателей АДЧРЭ практически для всех российских машин – ЭКГ-10, ЭКГ-12, ЭКГ-15, ЭКГ-18, ЭКГ-20, ЭКГ-35 [6, 7]. Успешно реализованные проекты разных экскаваторов для всех условий эксплуатации в России и других странах продемонстрировали соответствие технических решений мировому уровню [8]. Для экскаваторов нового поколения потребовалось развитие теории и практики частотно-регулируемого электропривода. Применительно к векторной системе с наблюдателем на основе расширенного фильтра Р. Калмана были разработаны способы управления при низких скоростях, ограничения мощности при слабой питающей сети, оптимизации энергетических характеристик, а также способы идентификации параметров асинхронных машин при заторможенном роторе и сопротивлений консольной электрической линии, питающей экскаватор [8].



Рис. 1. Шкафы управления приводами экскаватора ЭКГ-20
Fig. 1. Control cabinets for the EKG-20 excavator drives

Для всех типов российских шагающих экскаваторов разработаны и реализованы современные комплектные системы управления. Более 50 комплектов было поставлено для предприятий России, стран СНГ и Индии. Выполняются проекты модернизации роторных экскаваторов.

Новые мехатронные комплексы обеспечивают высокие производительность, коэффициент технической готовности и уровень электромагнитной совместимости. Информационная система «Пульсар» осуществляет диагностику компонентов машины с интеллектуальной обработкой данных, регистрацию всех процессов и документирование показателей работы машины; удаленный мониторинг. Современный карьерный экскаватор — эргатическая мехатронная система [9]. Эффективный человеко-машинный интерфейс отвечает современным требованиям эргономики и служит важным фактором обеспечения надежной и производительной работы машины.

На рис. 1 показаны фотографии шкафов управления преобразователями приводов и ячейки высоковольтного ввода.

Постоянное совершенствование электрооборудования и систем управления экскаваторов нового поколения с высоким уровнем цифровизации ориентировано на создание систем для работы и принятия решений с минимальным участием человека в соответствии с технологией «Интеллектуальный карьер» [10, 11].

Мехатронные системы электрических буровых станков

Процессы бурения взрывных скважин на открытых горных работах занимают особое место [12]. Удельный вес буровых работ в общей себестоимости добычи полезных ископаемых составляет более 30%. Современный буровой станок — сложный мехатронный комп-

лекс с высоким уровнем автоматизации, работающий в тяжелых условиях.

В 1997 — 1998 г. Компания выполнила проект по разработке новых низковольтных комплектных устройств для шарошечных буровых станков СБШ-250МНА производства ОАО «Рудгормаш». Серия станков в количестве 34 шт. была поставлена на добывающие предприятия Индии. В низковольтных комплектных устройствах впервые в отечественной практике были применены перспективные технические решения: микроконтроллерный привод постоянного тока вращателя, тиристорные устройства мягкого пуска приводов переменного тока хода и компрессора, микроконтроллерный модуль измерения глубины скважины при бурении, автоматическая система горизонтирования станка, информационная система сбора, обработки и визуализации параметров технологического процесса и др.

Дальнейшее развитие электрооборудования и систем управления для буровых станков проходило в направлениях совершенствования приводов, повышения надежности и уровня автоматизации. Важным решением в этом процессе было создание мехатронного комплекса с двигателями переменного тока. Для этого на основании технического задания, составленного специалистами Компании, в ОАО НИПТИЭМ (г. Владимир) было выполнено проектирование и освоено производство серии двигателей для вращателей (АДЧР315МА6У1-1М3013-1-О-БМЗ-М, 120 кВт, 1100 об/мин, и АДЧР280S4У1-1М3013-1-О-БМЗ-М, 90 кВт, 1500 об/мин) и хода (АДЧР280S4У1-1М3013-1-О-БМЗ-М, 90Вт, 1500 об/мин) станков шарошечного бурения. Двигатели имеют конусный вал, оптимизированную активную часть, стальной корпус, усиленные подшипниковые щиты, специальную сборку переднего подшипника. Для мехатрон-

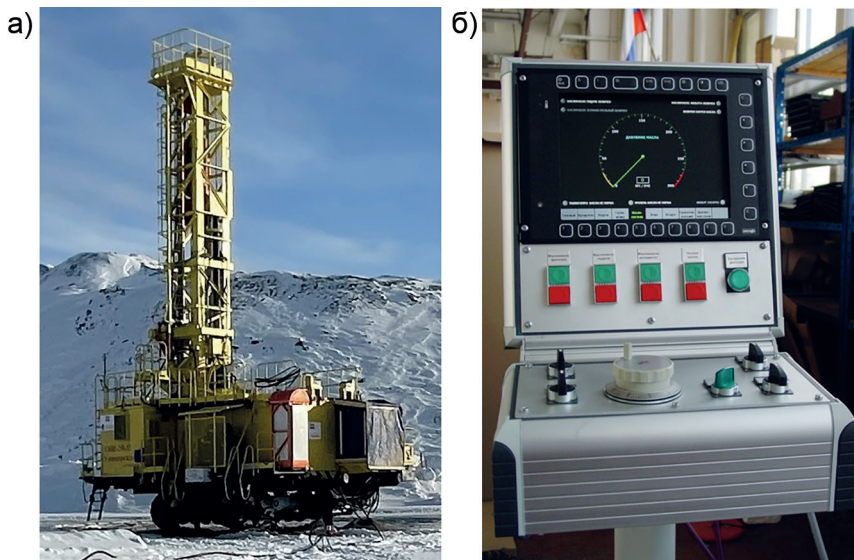


Рис. 2. Буровой станок СБШ-250-32 (а) и панель оператора (б)
 Fig. 2. Drilling rig SBSH-250-32 (a) and operator panel (b)

ных систем переменного тока вращателя и хода разработаны оригинальные бездатчиковые алгоритмы векторного управления, обеспечивающие устойчивую работу при низких частотах вращения и реализацию специальных режимов.

Компьютерная система управления и мониторинга при работе станка обеспечивает графическое отображение основных параметров бурения: частоты и нагрузки двигателя вращателя, усилия и скорости подачи инструмента, давления масла, давления воздуха, уровня и давления воды, глубины скважины, скорости проходки, производительности маслонасоса, а также углов крена платформы машины, состояния входов и выходов модулей системы управления и др.

На предприятия — изготовители буровых станков: Завод «Рудгормаш», ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова» и ОАО «ЛМЗ Универсал» (Беларусь) поставлено более 200 комплектных систем управления. На рис. 2 показаны буровой станок СБШ-250 и пульт управления станком.

Направление дальнейшего совершенствования мехатронных комплексов для буровых станков — повышение уровня автоматизации технологического процесса на основе применения методов дистанционного управления, компьютерной диагностики и инструментария цифровых двойников [13].

Комплектное оборудование для автосамосвалов с мехатронной трансмиссией

В настоящее время на карьерах в качестве автомобильного транспорта преимущественно используются автосамосвалы БелАЗ [14]. В 2020 г. в Компании по инициативе концерна Русэлпром было начато проектирование и изготовление опытных образцов преобразователей и систем управления для комплектов тягового электрооборудования (КТЭО) автосамосвалов грузоподъемностью 90 т. Новое техническое решение мехатронной трансмиссии переменного тока с асинхронными приводными двигателями мотор-колес и синхронным генератором производства Концерна

Русэлпром в 2021 г. успешно прошло все испытания на Сафоновском электромашиностроительном заводе, в составе автосамосвала БЕЛАЗ 75583 на полигоне и в условиях разреза «Березовский» (АО «Стройсервис»). В 2022 г. было начато серийное производство оборудования. КТЭО для автосамосвала БелАЗ-240 также прошел испытания и выпускается в настоящее время серийно. Выполнен и находится на этапе испытаний проект шкафа преобразователей и системы управления для автосамосвалов грузоподъемностью 136 т.

Преобразователи управления асинхронными двигателями мотор-колес выполнены на IGBT транзисторах пятого поколения FF1800R17IP5 фирмы Infineon с низкими тепловыми потерями и эффективным охлаждением кристаллов. В преобразователях для всех машин используется воздушное охлаждение силовых компонентов. Для системы векторного управления асинхронными двигателями разработаны специальные алгоритмы, обеспечивающие устойчивую работу в широком диапазоне частот при оптимальном согласовании мощности дизельного двигателя и электрического привода. Электрооборудование имеет повышенный запас по мощности, что обеспечивает автосамосвалу эксплуатационные преимущества по сравнению с лучшими отечественными КТЭО для автосамосвалов БелАЗ [15].

В мехатронной трансмиссии реализованы антипробуксовочные и антиблокировочные функции, режимы ограничения дифференциала, удержания автосамосвала при нулевой скорости, а также автоматической стабилизации скорости при движении (круиз-контроль). Применено согласованное действие ограничений дифференциала и ускорения, повышающее эффективность противонаварийного управления. Информационно-диагностическая система выполняет

регистрацию основных параметров и сохраняет предысторию аварийных процессов. Система удаленного мониторинга позволяет контролировать работу мехатронной системы автосамосвала из любой точки наблюдения.

Мехатронные комплексы для земснарядов

Гидромеханизация используется при добыче полезных ископаемых на обводненных территориях, в строительстве, при углублении судоходных путей, укреплении берегов, в мелиорации и водном хозяйстве, при обустройстве нефтяных и газовых месторождений и др. [16]. Разработанные Компанией «Объединенная Энергия» комплектные системы электрооборудования и управления для земснарядов соответствуют мировому уровню достижений в этой области техники.

Энергообеспечение земснаряда напряжением 6 кВ осуществляется с помощью двух комплектных распределительных пунктов, один из которых размещается на берегу, а второй — на земснаряде. Привод грунтонасоса выполнен с использованием высоковольтного асинхронного двигателя с фазным ротором с тиристорным преобразователем в цепи ротора для пуска с алгоритмом переключения силовых резисторов в функции тока или времени. Регулируемые приводы переменного тока других систем земснаряда реализованы с использованием транзисторных преобразователей частоты.

Бортовой компьютер земснаряда осуществляет контроль всех технологических процессов и состояния оборудования. Система мониторинга обеспечивает отображение основных параметров питающей сети, главных и вспомогательных приводов, технологических параметров (давление, вакуум, расход, плотность) земснаряда и передачу данных

на сервер. Информация о рабочих параметрах отображается на экране бортового компьютера в формате, удобном для машиниста при управлении земснарядом.

Мехатронные комплексы используются для комплектации земснарядов, выпускаемых ЗАО «Цимлянский судомеханический завод» (рис. 3). Реализовано и внедрено более 80 комплектов электрооборудования.

Мобильные микросети для карьеров

На карьерах в настоящее время во многих случаях требуется работа машин при отсутствии стационарных линий электропередач или их недостаточной мощности [17]. Эффективным решением в этих случаях является применение

автономных энергетических источников [18]. Для горных предприятий такие источники, в отличие от традиционных дизель-генераторных станций, должны обеспечивать пуск и работу машин и технологических установок с нестационарными и резкопеременными нагрузками, а также при наличии подключенного электрооборудования, работающего с режимами рекуперации энергии. Разработанная в Компании мобильная микросеть содержит комплекс энергетических компонентов: дизельный двигатель; синхронный генератор; высоковольтную ячейку, модуль преобразователей напряжения для электропитания компонентов управления и дополнительного электрооборудования и комплекс устройств защиты и телекоммуникаций. Энергетическая установка размещена

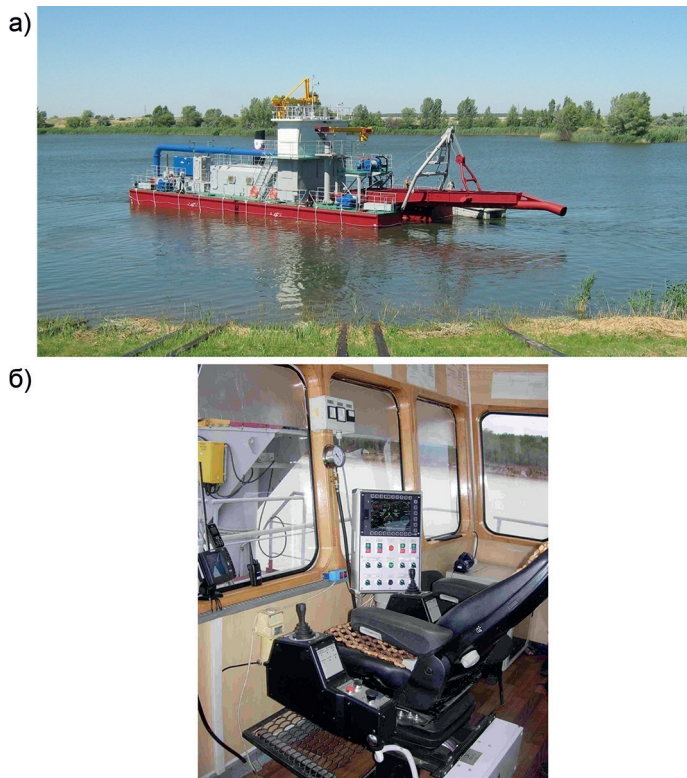


Рис. 3. Электрический земснаряд (а) и рабочее место машиниста (б)
Fig. 3. Electric dredger (a) and machinist's workplace (b)

на автомобиле КАМАЗ. Напряжение синхронного генератора 6 кВ, частота 50 Гц, мощность дизельного генератора для разных модификаций от 800 до 1200 кВт. Станция соединяется с экскаватором и, при необходимости, с питающей сетью штатными кабелями. Возможна работа микросети в автономном режиме или параллельно с сетью. Для пуска и работы асинхронных двигателей соизмеримой с дизель-генераторной установкой мощности разработаны специальные алгоритмы, использующие параллельную работу дизель-генераторной установки с сетью при пуске или пуск при регулировании частоты дизельного двигателя. Микросеть может использоваться при ремонтах и пусконаладочных работах в карьерах. При объединении группы энергетических установок автономная сеть обеспечивает электропитание участка предприятия. Перегон электрических и электрогидравлических экскаваторов на карьерах производится при совместном движении горной машины и энергетической установки (рис. 4).

Электробезопасность в высоковольтной микросети обеспечивается специальной системой непрерывного контроля сопротивления изоляции относительно корпуса (земли) типа БЗМ-4 со следующими видами защит: от обрыва фазы

питающей сети; от однофазных и двойных замыканий на землю; от недопустимых уровней напряжения в питающей сети; максимальной токовой защиты с независимой выдержкой времени; максимальной токовой отсечки с выдержкой времени и контролем целостности заземляющей жилы.

Испытательная техника

Технический уровень и качество мехатронных систем, функционирующих в тяжелых условиях при воздействии больших нагрузок, оказывают значительное влияние на надежность и эффективность работы горных машин. Процесс управления жизненным циклом наукоемких изделий включает компьютерное моделирование, исследовательские и другие виды испытаний в условиях испытательного центра и на предприятии — изготовителе горных машин. [19, 20]. Свойства мехатронной системы определяются как характеристиками всех компонентов, так и взаимодействием этих компонентов и реализованными в системе управления алгоритмами. Поэтому для организации испытаний требуется специальное испытательное оборудование, позволяющее, во-первых, воспроизводить режимы, близкие к реальным, и, во-вторых, исследовать совместную работу электромеханиче-



Рис. 4. Перегон экскаватора на карьере

Fig. 4. Driving an excavator through a quarry

ских, силовых преобразовательных и управляющих компонентов, в том числе реализованных программно.

Стендовое оборудование, разработанное в Компании, позволяет выполнять исследование характеристик отдельных компонентов: двигателей, преобразователей и средств управления, а также электроприводов в различных тестовых режимах [19]. Испытания проводятся методом взаимной нагрузки. Для этого используются два двигателя, валы которых соединены механически через измерительную моментную муфту. Управление двигателями осуществляется с помощью транзисторных преобразователей, подключенных к общей сети. Обмен энергией между двумя машинами, одна из которых работает в двигательном режиме, а другая — генераторном, осуществляется через сеть переменного тока. Потребление энергии из сети при этом равно потерям в компонентах системы.

Для проведения испытаний разработаны специальные методики. Основные испытания мехатронных систем на стенде:

- идентификация параметров схемы замещения асинхронных двигателей при неподвижном роторе;
- испытание электрических машин в режиме холостого хода;
- испытания электропривода при статической нагрузке. Испытания электропривода повторяются при других нагрузках, до 200% от номинального значения. Нагрузка привода формируется эквивалентным двигателем переменного тока с системой управления, замкнутой по моменту, и моментной муфтой;
- идентификация статической механической характеристики электропривода;
- идентификация динамических характеристик путем измерения времени разгона и торможения;

- определение погрешностей регулирования скорости и момента и оценивания момента и частоты вращения с помощью наблюдателей. Выполняется при различных режимах работы привода с помощью информационно-диагностической системы;

- испытания приводов при динамических и циклических нагрузках;

- тепловые испытания компонентов электропривода при работе привода с заданными частотой вращения и нагрузкой и при имитации цикла работы на экскаваторе;

- определение энергетических характеристик приводов и их компонентов. Проводится с целью анализа потерь в компонентах при различных режимах работы;

- имитация аварийных режимов работы электроприводов.

Методики и оборудование для испытаний используются в испытательном центре Компании и на Сафоновском электромашиностроительном заводе. Стенд для обкатки и испытаний редукторов подъема и напора карьерных экскаваторов используется в ООО «ИЗКАРТЭКС имени П.Г. Коробкова» [20]. Для научно-исследовательских испытаний мехатронных трансмиссий автосамосвалов БелАЗ и учебных занятий в Санкт-Петербургском горном университете имени Императрицы Екатерины II реализован лабораторный комплекс на основе разработанных в Компании преобразователей и системы управления КТЭО.

Компоненты электропитания горных мехатронных комплексов

Энергоснабжение горных машин имеет первый приоритет при организации работ на карьерах [4]. Специальное электрооборудование для тяжелых условий эксплуатации должно отвечать повышенным требованиям по надежности,

электробезопасности и электромагнитной совместимости. Для распределения электроэнергии подключения горных машин к питающим сетям напряжением 6 кВ и 10 кВ разработаны комплектные контейнерные трансформаторные подстанции, распределительные и приключательные пункты. Устройства оснащены микроконтроллерными многофункциональными системами защит, имеют различные варианты присоединения к воздушным и кабельным линиям, отличаются простотой, надежностью, эффективностью и высоким уровнем безопасности. Для оперативного и безопасного присоединения кабелей к высоковольтным вводам передвижных горных машин с напряжением питания 6 и 10 кВ разработан и выпускается не имеющий отечественных аналогов штепсельный разъем. Использование высоковольтного разъема на карьерах и других предприятиях и установках позволяет упростить и ускорить работы, в том числе аварийные, при высоком уровне безопасности и надежности.

Для экскаваторов и буровых станков разработаны и используются специальные ячейки высоковольтного ввода с повышенным ресурсом коммутационной аппаратуры. В устройствах применяется оригинальный механический привод двух высоковольтных разъединителей, исключающий ошибочные действия оператора и обеспечивающий безопасность работы. Ячейка оснащена многофункциональной системой защит и приборами контроля и учета расхода электроэнергии.

Для контроля сопротивления изоляции в сетях постоянного, переменного и двойного рода тока с изолированной нейтралью предназначено устройство АРГУС, полностью отвечающее требованиям нормативных документов по безопасности работ в горной промышленности. В настоящее время устрой-

ства устанавливаются в цепях до 1000 В всех горных машин.

Заключение

Горнодобывающая промышленность играет ключевую роль в обеспечении сырьем для производства товаров, инфраструктуры и энергии и, таким образом, определяет экономический рост и технологический прогресс страны. Она охватывает множество специфических задач, таких как бурение взрывных скважин, разрушение крупных горных пород, экскавацию и транспортировку вскрышных пород и руды и др. Для обеспечения эффективности и безопасности горных работ требуется постоянное решение сложных задач на основе использования достижений науки и техники.

Технический уровень современных добывающих машин зависит от качества проектных решений, выполняемых на основе информационных технологий, качества изготовления, определяемого технологическим оборудованием, а также используемых электронных систем управления. Здесь особое значение имеют наукоемкие технологии, интеллектуальные ресурсы, знания и умение воплощать их в продукцию.

Реализация результатов работы Компании «Объединенная Энергия» обеспечивает российской добывающей промышленности возможность проведения независимой политики по освоению минерально-сырьевой базы страны. Масштабное внедрение новых мехатронных систем, электрооборудования и средств автоматизации в горной промышленности способствует дальнейшему развитию научных исследований, инженерных разработок и наукоемкого производства при поддержке добывающих предприятий.

Преимущества российских горных машин нового поколения — высокая

надежность работы в тяжелых климатических условиях, низкие стоимость и затраты на эксплуатацию и простота обслуживания — позволяют им успешно конкурировать с аналогичными машинами США и Китая как на отечественном, так и мировом рынке. Коллектив компании «Объединенная Энергия», доказавший способность решать актуальные задачи горной промышленности и занявший лидирующие позиции в области автоматизации всех основных машин и оборудования для открытых горных работ, продолжает активно работать над решением проблем, связанных с

качественными преобразованиями при переходе к технологии «Интеллектуальный карьер».

Авторы выражают благодарность всем сотрудникам Компании «Объединенная Энергия», принимавшим участие в выполнении проектов, в том числе, главному инженеру О.Б. Баяеву, главному конструктору П.М. Афанасьеву, к.т.н. А.В. Карклину, к.т.н. В.И. Коняшину, к.т.н. В.И. Микрюкову, инженерам А.В. Анучину, В.С. Герасимову А.А. Новгородову, Н.А. Прусову, К.Ю. Раца, В.А. Шаповалову, В.С. Чистякову и другим специалистам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Long M., Schafrik S., Kolapo P., Agioutantis Z., Sottile J. Equipment and operations automation in mining: A review // *Machines*. 2024, vol. 12, article 713, pp. 1–17. DOI: 10.3390/machines12100713.
2. Мартынов К. А. Комплексная модель управления жизненным циклом наукоемких изделий // *Russian Journal of Management*. — 2025. — № 13(8). — С. 113–140. DOI: 10.29039/2500-1469-2025-13-8-113-140.
3. Bebić M., Rašić N., Vojvodić N., Jeftenić B. Revitalization and modernization of dragline excavators with limited budget / 21st International Symposium on Power Electronics, Novi Sad, Serbia, pp. 1–6. DOI: 10.1109/Ee53374.2021.9628268.
4. Малафеев С. С. Карьерные экскаваторы: актуальные вопросы повышения эффективности работы // *Автоматизация в промышленности*. — 2025. — № 3. — С. 29–33.
5. Малафеева А. А. Геометрическая модель внешних управлений в сложной системе // *Известия РАН. Теория и системы управления*. — 2010. — № 3. — С. 5–13.
6. Бедекер А. А. Основные направления работ концерна «Русэлпром» по разработке и совершенствованию электрических машин и приводов переменного тока // *Электротехника*. — 2024. — № 1. — С. 2–9. DOI: 10.53891/00135860_2024_1_2.
7. Кобелев А. С., Макаров Л. Н. Принципы проектирования высокоэффективной общепромышленной серии асинхронных двигателей с максимизацией энергетических и мощностных показателей // *Электротехника*. — 2024. — № 1. — С. 10–27. DOI: 10.53891/00135860_2024_1_10.
8. Малафеев С. И., Коняшин В. И., Новгородов А. А. Экскаватор ЭКГ-20: новое техническое решение мехатронного комплекса // *Уголь*. — 2019. — № 7. — С. 4–7. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-7-4-7.
9. Шибанов Д. А., Иванов С. Л., Шешукова Е. И., Недашковская Е. С. Эффективность функционирования карьерного экскаватора как эргатической системы // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2023. — № 11-1. — С. 144–158. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_111_0_144.
10. Жиронкин С. А., Коновалова М. Е. Перспективы перехода к майнингу 5.0 — геотехнологии второй половины XXI в. // *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. — 2024. — № 2 (162). — С. 45–56. DOI: 10.26730/1999-4125-2024-2-45-56.
11. Du H., Chan L., Tong J., Raad R., Naghdy F., Guo Q., Yu Y., Islam M. R., Tubbal F., Ros M., Li Z., Ritz C. Industrial progress of robotic automation in mining applications: A survey // *Mining, Metallurgy & Exploration*. 2025, vol. 42, pp. 537–556. DOI: 10.1007/s42461-025-01219-y.
12. Kokkinis A., Frantzis T., Skordis K., Nikolakopoulos G., Koustoumpardis P. Review of automated operations in drilling and mining // *Machines*. 2024, vol. 12, article 845, pp. 1–19. DOI: 10.3390/machines12120845.

13. Yao K., Tian H., Yao N., Yin X., Fang P., Yao Y., Wu D., Wang L. Present situation and prospect of drilling equipment technology in coal mine // *Coal Geology & Exploration*. 2019, vol. 47, no. 1, pp. 1–5. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1986.2019.01.001.
14. Казубенко А. Ф. Самосвалы БЕЛАЗ с электромеханической передачей // *Уголь*. – 2019. – № 5. – С. 5–51.
15. Vinogradov A. B., Gnezdov N. E., Sibirtsev A. N., Korotkov A. A., Chistoserdov V. L., Ermakov K. K. Extended features and import substitution in traction electrical equipment of mining dump trucks / 2024 IEEE 3rd International conference on problems of informatics, electronics and radio engineering (PIERE). 2024, pp. 1250–1254. DOI: 10.1109/PIERE62470.2024.10805046.
16. Бессонов Е. А. Пути совершенствования отечественной гидромеханизации // *Sci-Article.ru*. – 2024. – № 131. – С. 72 – 86. <http://sci-article.ru>.
17. Ndeke C., Adonis M., Almaktoof A. Energy management strategy for a hybrid microgrid system using renewable energy // *Discover Energy*. 2024, vol. 4, no. 1, pp. 1–21. Published online 08 February 2024. DOI: 10.21203/rs.3.rs-3453430/v1.
18. *Microgrids*. Advances in operation, control, and protection. Anvari-Moghaddam A., Abdi H., Mohammadi-Ivatloo B., Hatziargyriou N. (Eds.). Springer Nature Switzerland AG, 2021, 642 p. DOI: 10.1007/978-3-030-59750-4.
19. Malafeev S. I., Novgorodov A. A., Konyashin V. I. Bench tests of the quarry excavators main electric drives / XI International Conference on Electrical Power Drive Systems (ICEPDS), Saint-Petersburg, Russia, 2020, pp. 1–6. DOI: 10.1109/icepds47235.2020.9249257.
20. Малафеев С. И., Малафеева А. А., Новгородов А. А., Коняшин В. И. Мехатронная система для обкатки и испытаний механических передач карьерных экскаваторов // *Горные науки и технологии*. – 2025. – № 1. – С. 75–83. DOI: 10.17073/2500-0632-2024-05-262. **MIAB**

REFERENCES

1. Long M., Schafrik S., Kolapo P., Agioutantis Z., Sottile J. Equipment and operations automation in mining: A review. *Machines*. 2024, vol. 12, article 713, pp. 1–17. DOI: 10.3390/machines12100713.
2. Martynov K. A. Comprehensive model of life cycle management of high-tech products. *Russian Journal of Management*. 2025, no. 13(8), pp. 113–140. [In Russ]. DOI: 10.29039/2500-1469-2025-13-8-113-140.
3. Bebić M., Rašić N., Vojvodić N., Jeftenić B. Revitalization and modernization of dragline excavators with limited budget. *21st International Symposium on Power Electronics*, Novi Sad, Serbia, pp. 1–6. DOI: 10.1109/Ee53374.2021.9628268.
4. Malafeev S. S. Quarry excavators: current issues of increasing operational efficiency. *Automation in Industry*. 2025, no. 3, pp. 29–33. [In Russ].
5. Malafeeva A. A. Geometrical model of external control in complex systems. *Journal of Computer and Systems Sciences International*. 2010, no. 3, pp. 5–13. [In Russ].
6. Bedeker A. A. The main directions of the «Ruselprom» concern's work on the development and improvement of AC electric machines and drives. *Russian Electrical Engineering*. 2024, no. 1, pp. 2–9. [In Russ]. DOI: 10.53891/00135860_2024_1_2.
7. Kobelev A. C., Makarov L. N. Design principles for a highly energy-efficient general industrial series of induction motors with maximization of energy and power indicators. *Russian Electrical Engineering*. 2024, no. 1, pp. 10–27. [In Russ]. DOI: 10.53891/00135860_2024_1_10.
8. Malafeev S. I., Konyashin V. I., Novgorodov A. A. Excavator EKG-20: New technical solution of mechatronic complex. *Ugol'*. 2019, no. 7, pp. 4–7. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-7-4-7.
9. Shibanov D. A., Ivanov S. L., Sheshukova E. I., Nedashkovskaya E. S. Efficiency of operation of a quarry excavator as an ergatic system. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023, no. 11-1, pp. 144–158. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_111_0_144.
10. Zhironkin S. A., Konovalova M. E. Transition prospects to mining 5.0 – geotechnology of the second half of the XXI Century. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2024, no. 2 (162), pp. 45–56. [In Russ]. DOI: 10.26730/1999-4125-2024-2-45-56.
11. Du H., Chan L., Tong J., Raad R., Naghdy F., Guo Q., Yu Y., Islam M. R., Tubbal F., Ros M., Li Z., Ritz C. Industrial progress of robotic automation in mining applications: A survey. *Mining, Metallurgy & Exploration*. 2025, vol. 42, pp. 537–556. DOI: 10.1007/s42461-025-01219-y.

12. Kokkinis A., Frantzis T., Skordis K., Nikolakopoulos G., Koustoumpardis P. Review of automated operations in drilling and mining. *Machines*. 2024, vol. 12, article 845, pp. 1–19. DOI: 10.3390/machines12120845.

13. Yao K., Tian H., Yao N., Yin X., Fang P., Yao Y., Wu D., Wang L. Present situation and prospect of drilling equipment technology in coal mine. *Coal Geology & Exploration*. 2019, vol. 47, no. 1, pp. 1–5. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1986.2019.01.001.

14. Kazubenko A. F. BELAZ dump trucks with electromechanical transmission. *Ugol'*. 2019, no. 5, pp. 5–51. [In Russ].

15. Vinogradov A. B., Gnezdov N. E., Sibirtsev A. N., Korotkov A. A., Chistoserdov V. L., Ermakov K. K. Extended features and import substitution in traction electrical equipment of mining dump trucks. *2024 IEEE 3rd International conference on problems of informatics, electronics and radio engineering (PIERE)*. 2024, pp. 1250–1254. DOI: 10.1109/PIERE62470.2024.10805046.

16. Bessonov E. A. Ways to improve domestic hydromechanization. *Sci-Article.ru*. 2024, no. 131, pp. 72–86. [In Russ]. <http://sci-article.ru>.

17. Ndeke C., Adonis M., Almaktoof A. Energy management strategy for a hybrid microgrid system using renewable energy. *Discover Energy*. 2024, vol. 4, no. 1, pp. 1–21. Published online 08 February 2024. DOI: 10.21203/rs.3.rs-3453430/v1.

18. *Microgrids. Advances in operation, control, and protection*. Anvari-Moghaddam A., Abdi H., Mohammadi-Ivatloo B., Hatzigargyriou N. (Eds.). Springer Nature Switzerland AG, 2021, 642 p. DOI: 10.1007/978-3-030-59750-4.

19. Malafeev S. I., Novgorodov A. A., Konyashin V. I. Bench tests of the quarry excavators main electric drives. *XI International Conference on Electrical Power Drive Systems (ICEPDS)*, Saint-Petersburg, Russia, 2020, pp. 1–6. DOI: 10.1109/icepds47235.2020.9249257.

20. Malafeev S. I., Malafeeva A. A., Konyashin V. I., Novgorodov A. A. Mechatronic system for running-in and testing of mechanical transmissions in mining shovels. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2025, no. 1, pp. 75–83. [In Russ]. DOI: 10.17073/2500-0632-2024-05-262.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Малафеев Сергей Иванович*¹ — д-р техн. наук, главный научный сотрудник; профессор, Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, e-mail: simalafeev@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-7691-3442, Scopus Author ID: 6603435892.

*Серебренников Николай Александрович*¹ — генеральный директор, e-mail: serebrennikov@jpc.ru,

¹ ООО Компания «Объединенная Энергия».

Для контактов: Малафеев С.И., e-mail: simalafeev@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

S.I. Malafeev, Dr. Sci. (Eng.), Chief Researcher; Professor, Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs, Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, 600000, Vladimir, Russia, e-mail: simalafeev@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-7691-3442, Scopus Author ID: 6603435892.

*N.A. Serebrennikov*¹, General Director, e-mail: serebrennikov@jpc.ru,

¹ «Joint Power» Co, Ltd, 111672, Moscow, Russia.

Corresponding author: S.I. Malafeev, e-mail: simalafeev@gmail.com.

Получена редакцией 08.10.2025; принята к печати 10.12.2025.

Received by the editors 08.10.2025; accepted for printing 10.12.2025.