

Код МРНТИ 52.13.03

А.К. Тулешов¹, А.Н. Лезин², *Н.К. Досмухамедов³, Н.М. Токенов²¹Институт механики и машиноведения им. У.А. Джолдасбекова (г. Алматы, Казахстан),²Товарищество с ограниченной ответственностью «АспапГЕО» (г. Алматы, Казахстан),³Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

ВОЗДУШНАЯ РОБОТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА РУД В ЕСТЕСТВЕННОМ ЗАЛЕГАНИИ

Аннотация. Одним из перспективных способов решения маркшейдерских задач на крупных карьерах и рудниках в ближайшее время может стать метод дистанционного картографирования с использованием беспилотных летательных аппаратов. В настоящей статье на основе анализа базовых принципов целевого применения высокотехнологичных рентгенофлуоресцентных средств измерений и робототехники показана возможность создания многофункциональной роботизированной системы для мониторинга качества руд с использованием интеллектуального беспилотного летательного аппарата, оснащенного техническим зрением, с установленным на нем специализированным EDXRF прибором РЛП-21, оснащенной новой структурной схемой. Проведен выбор и обоснование основного оборудования разрабатываемой системы. Показано, что применение роботов типа RW-UAS имеет ряд бесспорных преимуществ: простота использования, быстрый запуск, полностью автоматический полет, высокое качество снимков, безопасность и законченность решения.

Ключевые слова: портативный рентгенорадиометрический прибор, беспилотный летательный аппарат, робот RW-UAS, интеллектуальная система, сканирование рудников, программно-аппаратный комплекс.

Табиғи кеннің сапасын бақылауға арналған роботтандырылған әуе жүйесі

Аңдатпа. Жакын арада ірі карьерлер мен кеніштердегі маркшейдерлік міндеттерді шешудің перспективалық тәсілдерінің бірі ұшқышсыз ұшу аппараттарын пайдалана отырып, қашықтықтан картографиялау әдісі болуы мүмкін. Осы мақалада жоғары технологиялық рентгенофлуоресцентті өлшеу құралдары мен робототехниканы максатты қолданудың базалық қағидаттарын талдау негізінде жаңа құрылымдық схемамен жабдықталған, техникалық көру қабілетімен жабдықталған интеллектуалды ұшқышсыз ұшу аппаратын және оған арнайы EDXRF орнатылған РЛП-21 аспабын пайдалана отырып, кен сапасын мониторингтеу үшін конфункционалды роботтандырылған жүйе құру мүмкіндігі көрсетілген. Жасақталып жатқан жүйенің негізгі жабдықтарын тандау және негіздеу жүргізілді. RW-UAS типті роботтарды қолданудың бірқатар сөзсіз артықшылықтары бар: пайдаланудың қарапайымдылығы, жылдам іске қосу, толық автоматты ұшу, жоғары сапалы суреттер, қауіпсіздік және толық шешім.

Түйінді сөздер: портативті рентген-радиометриялық аспап, ұшқышсыз ұшу аппараты, RW-UAS роботы, зияткерлік жүйе, кеніштерді сканерлеу, бағдарламалық-аппараттық кешен.

Air robotic system for monitoring qualities of ores in natural occupation

Abstract. One of the promising ways to solve mine surveying problems in large quarries and mines in the near future may be the method of remote mapping using unmanned aerial vehicles. In this article, based on the analysis of the basic principles of the targeted use of high-tech X-ray fluorescence measuring instruments and robotics, the possibility of creating a multifunctional robotic system for monitoring the quality of ores using an intelligent unmanned aerial vehicle equipped with technical vision and a specialized EDXRF device RLP-21 installed on it, equipped with new structural diagram. The selection and justification of the main equipment of the developed system was carried out. It is shown that the use of robots of the RW-UAS type has a number of indisputable advantages: ease of use, fast start-up, fully automatic flight, high image quality, safety and completeness of the solution. The RW-UAS robot is equipped with a motion planning and training system, as well as semi-automatic control elements based on SLAM technology. The lightweight and low-cost cameras built into the RW-UAS have the significant advantage of allowing single-lens SLAM applications both indoors and outdoors. The developed scientific solutions and approaches will be used to create a general layout of a multifunctional robotic hardware and software complex for monitoring the quality of ores in natural occurrence.

Key words: portable X-ray radiometric device, unmanned aerial vehicle, RW-UAS robot, intelligent system, mine scanning, software and hardware complex, mine surveying, robotic system, ore quality, monitoring.

Введение

Горно-металлургический комплекс (ГМК) Казахстана, как одна из базовых отраслей и локомотив отечественной экономики, по существу, выступает законодателем в проведении инновационной и внешнеэкономической политики республики. Сегодня сформировалось четкое понимание того, что уровень индустриального развития государства должен определяться не столько ресурсными возможностями и размерами производства продукции с низким уровнем технологического передела, сколько степенью развития наукоемких отраслей, передовых в технологическом отношении. Ключевым аспектом нового типа инновационного развития в области высоких технологий становится аналитическое приборостроение, основанное на разработке высокоточных энергодисперсионных рентгенофлуоресцентных аналитических приборов (EDXRF) и их модификаций^{1, 2} [1-3], широко используемых в настоящее время в мировой практике и в различных отраслях экономики Казахстана.

Развитие и применение EDXRF в республике обеспечило получение оперативной информации при оценке качества руд, при поисках и разведке рудных полей для подсчета запасов месторождений, проведении контроля и управления технологическими процессами переработки рудного сырья и экологического мониторинга. Системные исследования в данном направлении проводятся фирмой ТОО «АспапГЕО», которая является единственным разработчиком отечественных базовых EDXRF приборов. Четкое понимание аналитических задач, стоящих перед предприятиями ГМК республики, позволило казахстанским разработчикам создать различные модификации современных отечественных EDXRF приборов. Разработанные приборы по техническим характеристикам не уступают, а по некоторым параметрам даже превосходят зарубежные аналоги и обеспечивают высокую чувствительность, селективность, точность и достоверность опробования² [3].

¹Косьянов П.М. Рентгенофизический анализ неорганических веществ сложного химического состава: монография. – Тюмень: ТИУ, 2016. – 195 с.

²Лезин А.Н., Досмухамедов Н.К., Меркулова В.П., Токенов Н.М. Способ опробования руд месторождений полезных ископаемых. / Инновационный патент КЗ №27145. Патентообладатель: Лезин А.Н., Досмухамедов Н.К. – 2013. – Бюл. №7.

Низкая стоимость (на 30% ниже зарубежных аналогов), простота в обслуживании, предоставление комплекса услуг по обучению рабочего персонала и качественное сервисное обслуживание значительно повысили конкурентоспособность разработанных приборов. Существенное их преимущество перед зарубежными аналогами заключается в их адаптации к решению конкретных задач, стоящих перед предприятиями ГМК.

В настоящее время предприятия ГМК республики успешно эксплуатируют более двухсот различных модификаций стационарных (РЛП-21) и переносных (РПП-12) приборов, разработанных ТОО «АспапГЕО» [4]. Широкие функциональные возможности разработанных приборов позволяют решать конкретные аналитические задачи, которые являются приоритетными для предприятий ГМК. Промышленная эксплуатация прибора РПП-12 для опробования кернов, штуфов каменных проб и руд в естественном залегании считается весьма принципиальным с точки зрения ресурсосбережения первичного сырья и повышения эффективности производства в целом. К примеру, с использованием всего лишь 15 приборов РПП-12 только в шахтах подземных рудников ТОО «Корпорация «Казахмыс» производится экспресс-опробование более 200 тысяч погонных метров в год подземных горных выработок.

Крупные достижения в области ядерной электроники, физики твердого тела, компьютерной технологии, наблюдаемые в последнее время, позволили добиться значительного прогресса в аппаратной части метода. Положительные результаты системных исследований позволили ученым-специалистам ТОО «АспапГЕО» создать новые модификации приборов, оснащенных высокотехнологичными решениями («ноу-хау»), и имеющими принципиально новое, мощное программно-методическое обеспечение. На их основе разработаны новые высокотехнологичные роботизированные системы автоматического контроля качества руд и концентратов (рудоконтролирующие станции РКС-21), обеспечивающие непрерывный мониторинг их качества на транспортной ленте.

В настоящее время в крупных подразделениях ТОО «Корпорация «Казахмыс» – Жезказганская, Балхашская, Карагайлинская, Нурказганская обогатительные фабрики – введены в эксплуатацию 8 РКС-21 [5].

Успехи казахстанских ученых и инженеров в области создания отечественных высокотехнологичных рентгенофлуоресцентных приборов и робототехники, а также их сочетание вполне могут составить основу нового направления в приборостроении – развитие интеллектуальных систем, позволяющих решать сложные научно-практические задачи в различных секторах экономики республики, включая геологическую и горнодобывающую отрасли, на качественно новом уровне.

С учетом новых задач, поставленных перед горно-металлургическим комплексом страны в Государственной программе индустриально-инновационного развития Республики Казахстан, заметна слабая оснащенность предприятий современными роботизированными системами оперативного контроля и учета содержания ценных металлов, что значительно отражается на темпах роста и устойчивом развитии предприятий.

Сегодня ГМК сталкивается с различными технологическими трудностями: проблемами, связанными с трудноизвлекаемыми запасами руды и полезных ископаемых, снижением коэффициента извлечения руды, наводнением шахт и рудников, проблемами безопасности и тяжелого труда персонала. Внедрение цифровизации позволит решить комплекс сложных вопросов, в частности, и те, которые до сих пор мало изучены.

Одним из элементов цифровой модернизации отрасли является роботизация и внедрение интеллектуальных систем в проведении маркшейдерских и разведывательных работ. В среднесрочной перспективе следует ожидать плавного перехода работы сервисных компаний на безлюдные технологии разведки, мониторинга, добычи и обработки руды.

В рассматриваемом ракурсе принципиальной представляется разработка инновационного направления по созданию роботизированного аппаратно-программного комплекса для мониторинга качества руды в естественном залегании с использованием последних достижений в области робототехники, ядерной электроники, физики твердого тела, физики взаимодействия рентгеновского излучения с веществом и IT-технологий.

В настоящей статье на основе анализа базовых принципов целевого применения высокотехнологичных рентгенофлуоресцентных средств измерений и робототехники показана возможность создания многофункционального роботизированного аппаратно-программного комплекса для мониторинга качества руд с использованием интеллектуального беспилотного летательного аппарата, оснащенного техническим зрением, с установленным на нем специализированным рентгенофлуоресцентным аналитическим прибором.

Методы исследования

Одним из перспективных способов решения маркшейдерских задач на крупных карьерах и рудниках в ближайшее время может стать метод дистанционного картографирования с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА)^{3, 4}.

Суть применения многофункционального роботизированного аппаратно-программного комплекса заключается в следующем. На БПЛА устанавливается видеочасть с высоким разрешением и компактный EDXRF прибор РПП-12. После комплектации комплекс запускается в шахту и начинает движение по заданной оператором траектории, который наблюдает

³Сечин А.Ю., Дракин М.А., Киселева А.С. Беспилотный летательный аппарат: применение в целях аэрофотосъемки для картографирования – М.: Ракурс, 2011. – Ч. 2. – 98 с.

⁴БПЛА Gatewing X100: практическое применение в геодезии и маркшейдерии [Электронный ресурс]. / NovaNet (официальный импортер и дистрибьютор компании Gatewing в России). – 2012: <http://www.nova-net.ru/about/news/126-bpla-gatewing-x100-prakticheskoe-primeneniye-geodezii-i-markshejderii.html>. (Дата обращения: 7.07.2022).

за движением комплекса с помощью видеокамеры. Это позволяет оператору регулировать расстоянием между комплексом и исследуемой поверхностью. В момент приближения комплекса к поверхности происходит автоматическое включение прибора (РПП-12) и начинается опробование исследуемой поверхности. Данные передаются автоматически на промышленный компьютер, где происходит сбор и анализ результатов. Автоматическое перемещение дрона позволяет эффективно проводить опробование поверхности руды в труднодоступных местах, что повышает достоверность и точность качества исследуемой поверхности руды в естественном залегании. Использование комплекса обеспечивает высокую производительность опробования руд в естественном залегании и исключает вмешательство рабочих, чем достигается высокая степень безопасности при опробовании руд в труднодоступных местах.

Важной задачей при создании комплекса является разработка его конструкции, включающей выбор основного оборудования – БПЛА и EDXRF, которые должны быть совмещены в единый комплекс и работать как единый организм.

Для решения поставленной задачи в работе использован широкий комплекс методов исследований. В качестве БПЛА выбран воздушный робот типа RW-UAS, представляющий многозвенную электромеханическую систему, состоящую из платформы, четырех быстро вращающихся бесшарнирных роторов с лопастями, четырех управляемых электроприводов⁵.

Для математического моделирования кинематики, динамики и интеллектуальной системы робота типа RW-UAS использованы нелинейные геометрические, динамические и упругие характеристики.

Процесс проектирования, моделирования и системного анализа для всех роботов типа RW-UAS, по существу, очень похож, и в значительной степени основан на методологиях, первоначально разработанных в аэрокосмическом сообществе для полномасштабного проектирования и оценки винтокрылых аппаратов⁶. При разработке эффективного робота RW-UAS учитывался анализ и оценка динамики полета всей роботизированной платформы. Для разработки системы планирования и отработки движения с элементами полуавтоматического управления использована технология одновременной локализации и картографирования (Simultaneous Location and Mapping – SLAM) [6].

Разработка прикладных программ численного расчета проводится на базе аналитической среды Maple, Matlab и ее модулей.

Для проведения сравнительного анализа и интерпретации результатов аналитических, экспериментальных и численных исследований, разработки интеллектуальной системы управления и методов их корректировки, а также методики экспериментальных и проектных исследований экспериментального

образца воздушного робота используются компьютерные системы APM Winmachine, Autodesk Inventor и программные комплексы MSC Nastran и Adams.

Разработка сенсорной системы воздушного робота для проведения спектрального анализа руды базируется на портативном EDXRF РПП-12, оснащенной новой структурной схемой.

Основные положения, выбор и обоснование основного оборудования

Беспилотные роботы типа RW-UAS являются конфигурациями воздушных транспортных средств, с которыми можно встретиться в большинстве приложений, включая наблюдение, мониторинг, картографирование, технический осмотр или транспортировка груза. Данные роботы адаптированы к повышенной маневренности, а также к способности стационарного вертикального полета (зависания)⁷. Широкие возможности RW-UAS очень привлекательны и подходят для проведения маркшейдерской съемки и сканирования спектрального состава горных пород и руд в естественном залегании. Широко используемая аэрофотосъемка значительно повышает производительность маркшейдерских съемок и дает возможность наиболее полно отобразить информацию о поверхности, но на сегодняшний день она обладает низкой оперативностью [7]. Это связано с тем, что результаты съемок в маркшейдерскую службу передаются более чем через два дня, из-за чего теряется их актуальность. Неэффективно использовать аэрофотосъемку для картографирования в крупном масштабе небольших площадей. Метод экономически многозатратный: затраты на аэрофотосъемку, по данным работы [7], составляют ~24 млн тенге в год.

Применение трехмерных высокоточных лазерных сканирующих систем позволит во много раз увеличить полноту и информативность данных при проведении маркшейдерских съемок. Достоинствами сканеров типа Riegl является высокая точность, дальность измерения расстояний (до 1000 м с точностью ± 5 мм), быстрота сбора данных (12000 точек в секунду), надежность, универсальность, безопасность, высокая экономическая эффективность и наглядность конечных результатов. Обработка измерений проводится в программном обеспечении RiSCAN PRO Processing с использованием модуля объединения и уравнивания данных Multi Station Adjustment³. Им характерны такие недостатки, как необходимость длительных переездов и переходов для выбора ракурса (до 40 минут между съемками фрагментов); зависимость погрешности определения координаты Z (высотной отметки) от угла между марками внешнего ориентирования относительно лазерного сканера; необходимость мощных программных средств и компьютерных ресурсов для обработки результатов измерений; высокая стоимость оборудования трехмерной лазерной сканирующей системы и программного обеспечения (до 150 тыс. долларов США).

⁵Leishman G.J. *Principles of Helicopter Aerodynamics*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2006. – 864 с.

⁶Padfield G.D. *Helicopter Flight Dynamics*. New York: Blackwell, 2007. – 635 p.

⁷Siciliano B., Khatib O., (Eds.). *Springer Handbook of Robotics*. – Verlag Berlin Heidelberg, 2016. – 2nd Edition. – Chapter 24. Wheeled Robots.

Выбор в качестве БПЛА робота типа RW-UAS имеет бесспорные преимущества, к которым можно отнести простоту его в эксплуатации, быстрый запуск, полностью автоматический полет, высокое качество снимков и ортофотопланов, безопасность и законченность решений. Большое значение при этом имеет экономическая эффективность RW-UAS по сравнению с аэрофотосъемками; улучшение оперативности, полноты и точности маркшейдерских съемок по сравнению с лазерным сканированием и возможность проведения мониторинга открытых и подземных горных работ.

Оснащенность робота RW-UAS системой планирования и обработки движения, а также элементами полуавтоматического управления на основе технологии SLAM придает ему особую привлекательность. Технология SLAM – это решение, с помощью которого робот может построить карту окружающей среды и в то же время использовать эту карту для вычисления своего собственного местоположения [6]. В качестве примера использования полуавтоматических режимов управления можно привести серийные мультироторные БПЛА, оснащенные датчиками GPS, или небольшие самолеты, используемые для проведения съемок. Необходимо отметить, что используемые для определения местоположения робота спутниковые системы GPS (ГЛОНАСС или GALILEO) могут быть недостаточно точными, особенно в части выполнения задач, связанных с работой в непосредственной близости от искусственных сооружений и не работают при проведении работ в подземных рудниках. Для устранения этих недостатков необходимо использование на борту БПЛА дополнительных датчиков (камеры, лазерные дальномеры) в сочетании с алгоритмами одновременной локализации и картирования или визуальной и/или лазерной одометрией, дающей дополнительную информацию о локализации.

С нашей точки зрения, встроенные в RW-UAS легкие и недорогие камеры имеют значительное преимущество в том, что они позволяют применять однообъективный SLAM как внутри помещений, так и на открытых производственных площадках. Вместе с тем, масштаб окружающего мира не может быть определен при помощи одного лишь изображения. Поэтому наиболее целесообразно дополнительно использовать данные инерциальных измерений IMU (Inertial Measurements Unit – устройство для осуществления инерциальных измерений). Комбинация инерциальных и визуальных измерений нивелирует недостатки, присущие системам GPS, и значительно улучшает определение местоположения робота.

Численный расчет и виртуальное моделирование воздушного робота осуществляется с использованием аналитической среды Maple, Matlab и их модулей: Control System Toolbox, System Identification Toolbox. Сравнительный анализ и корреляция результатов математического моделирования, проектирования в системе цифровой технологии и экспериментов воздушного робота будут взаимно дополнять друг

друга, что позволит оценить их достоверность и степень воспроизводимости данных.

Необходимо отметить, что эксплуатация разрабатываемого комплекса для мониторинга руд с использованием робота RW-UAS позволит, наряду с маркшейдерской съемкой, выполнять функцию высокоточного спектрального сканирования руды как на открытых площадках, так и в естественном залегании. Особый интерес в этом плане представляет сочетание робота с EDXRF приборами, которые обеспечивают экспрессность, простоту и возможность осуществления анализа без непосредственного контакта с образцом, что выгодно отличает их от традиционных методов аналитической химии.

Интеллектуальная система воздушного робота, обеспечивающая спектральный анализ руды в естественном залегании базируется на портативном EDXRF приборе РПП-12, который оснащен новым блоком возбуждения и детектирования с использованием рентгеновской трубки и современных мощных полупроводниковых SDD-детекторов. Новые подходы и принятые технические решения позволят обеспечить высокую селективность, точность и достоверность результатов определения содержания элементов в сложных по составу рудах в широком диапазоне изменений содержания металлов.

Развитие робототехники является мировым трендом и показателем уровня научно-технологического развития индустриально развитых стран. В мире темпы роста рынка промышленной робототехники опережают рост мирового ВВП: за последние десять лет среднегодовой рост продаж промышленных роботов составил более 12%. Рынок сервисной робототехники растет быстрее, о чем свидетельствует резкое увеличение продаж профессиональных сервисных роботов на 25% в 2017 г.

В Казахстане робототехника должным образом не развивается. По показателю плотности роботизации IFR (количество роботов на 10 тыс. человек), занятых в промышленности, Казахстан даже не входит в число анализируемых стран. К примеру, данный показатель в Южной Корее составляет – 631, Сингапуре – 488, Германии – 309, Японии – 303, США – 189, России – 2.

Разработка и создание многофункционального роботизированного аппаратно-программного комплекса для мониторинга качества руд с использованием интеллектуального воздушного беспилотного робота RW-UAS, оснащенного техническим зрением, с установленным на нем специализированным рентгенофлуоресцентным аналитическим прибором, позволит решить многие сложные задачи на основе междисциплинарного подхода, где требуются знания в области моделирования и проектирования беспилотных аппаратов, а также во многих областях инженерии и робототехники. Такой воздушный робот с новыми научно-техническими решениями в Казахстане и мировой практике разрабатывается впервые.

Создание новых инновационных направлений, в частности, по разработке воздушных роботов для маркшейдерских работ и мониторинга руд в естественном

залегания является актуальной задачей для Казахстана, и соответствует задачам технологического развития горнодобывающей отрасли страны и планам модернизации крупных компаний республики. Развитие данного направления окажет прямое влияние на широкое использование цифровой технологии, интеллектуальных робототехнических систем, разработку новых методов исследования и освоение новых инструментальных проектирования роботов, подготовку научных и инженерных кадров высокой квалификации.

Выводы

1. На основании анализа имеющегося научно-технического задела по разработке интеллектуальной системы и аппаратного комплекса мобильных роботов, методов и программных комплексов рентгенофлуоресцентного анализа руд показана принципиальная возможность создания многофункционального роботизированного аппаратно-программного комплекса для мониторинга качества руд.

2. Приведены достоинства и преимущества использования интеллектуального воздушного беспилотного

робота RW-UAS, оснащенного техническим зрением, с установленным на нем специализированным рентгенофлуоресцентным аналитическим прибором для проведения работ по мониторингу качества руд в естественном залегании.

3. Показаны возможности использования в качестве интеллектуальной системы программно-аппаратного комплекса новой модификации рентгенофлуоресцентного прибора на базе успешно эксплуатируемого на крупных предприятиях ГМК Казахстана портативного прибора РПП-12.

4. Описаны методы проектирования интеллектуальной системы на основе технологии SLAM, тематического моделирования и программирования динамических процессов и систем управления мобильного робота.

5. Разработанные научные решения и подходы будут использованы для создания общего макета многофункционального роботизированного аппаратно-программного комплекса для мониторинга качества руд в естественном залегании.

Исследования проводятся в рамках грантового финансирования Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан на 2021-2023 годы по приоритетному направлению «Информационные, коммуникационные и космические технологии» проекта «Разработка аппаратно-программного комплекса воздушной роботизированной системы для мониторинга качества руд в естественном залегании».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Pantazis T., Pantazis J., Huber A., Redus R. Историческое развитие рентгеновского детектора с термоэлектрическим охлаждением и его влияние на портативную и ручную рентгенографическую промышленность. // Рентгеновская спектроскопия. – 2010. – Т. 39. – №2. – С. 90-97 (на английском языке)
2. Li F., Guo W., Gardner R.P. Реализация метода наименьших квадратов на основе библиотеки Монте-Карло для энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного анализа. // Достижения в рентгеноструктурном анализе. – 2008. – №50. – С. 227-235 (на английском языке)
3. Досмухамедов Н.К., Лезин А.Н. Разработка отечественных приборов аналитического контроля для предприятий горно-металлургического комплекса Казахстана. // Горный журнал Казахстана. – Алматы, 2011. – №10. – С. 30-35 (на русском языке)
4. Нигматулин А.М., Абдрахманова З.Т., Кан А.Н., Ефименко С.А. Геофизический мониторинг содержания серебра в рудах медьсодержащих месторождений Жезказган и Жаман-Айбат. // Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий: сборник статей VII Всероссийской молодежной конференции с международным участием. – Уфа, 2019. – С.131-137 (на русском языке)
5. Кан А.Н., Абдрахманова З.Т., Юн Р.В., Ефименко С.А. Мониторинг качества руд, отгружаемых шахтами и карьерами ГОК ТОО «Корпорация Казахмыс». // Минерально-сырьевой комплекс: инженерные и экономические решения: сборник материалов XVII Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию БНТУ. – Минск: БНТУ, 2020. – С. 92-93 (на русском языке)
6. Durrant-Whyte H., Bailey T. Одновременная локализация и картографирование (SLAM). Часть I. Основные Алгоритмы. // Международный журнал передовых робототехнических систем. – 2009. – №6(3). – С. 1-9 (на английском языке)
7. Корецкая Г.А., Корецкий Д.С. Совершенствование технологий маркшейдерских съемок открытых горных работ. // Вестник КузГТУ. – 2013. – №3. – С. 38-40 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Pantazis T., Pantazis J., Huber A., Redus R. Термоэлектрлік салқындатылған рентген детекторының тарихи дамуы және оның портативті және қолмен рентгенографияға әсері. // Рентгендік спектрометрия. – 2010. – Көл. 39. – №2. – Б. 90-97 (ағылшын тілінде)
2. Li F., Guo W., and Gardner R.P. Монте-Карло кітапханасына негізделген ең кіші квадраттар әдісін энергияны дисперсиялық рентгенофлуоресцентті талдау үшін қолдану. // Рентген құрылымын талдауға қол жеткізу. – 2008. – №50. – Б. 227-235 (ағылшын тілінде)
3. Досмухамедов Н.К., Лезин А.Н. Қазақстанның тау-кен металлургия кешені кәсіпорындары үшін талдамалық бақылаудың отандық аспаптарын әзірлеу. // Қазақстанның тау-кен журналы. – Алматы, 2011. – №10. – Б. 30-35 (орыс тілінде)
4. Нигматулин А.М., Абдрахманова З.Т., Кан А.Н., Ефименко С.А. Жезқазған және Жаман-Айбат мыс бар кен орындарының кендеріндегі күміс құрамының геофизикалық мониторингі. // Геология, геоэкология және Орал мен оған іргелес аумақтардың ресурстық әлеуеті: халықаралық қатысумен VII бүкілресейлік жастар конференциясының мақалалар жинағы. – Уфа, 2019. – С. 131-137 (орыс тілінде)
5. Кан А.Н., Абдрахманова З.Т., Юн Р.В., Ефименко С.А. «Қазақмыс корпорациясы» ЖШС КБК шахталары мен карьерлерімен тиелетін кен сапасының мониторингі. // Минералдық-шикізат кешені: Инженерлік және экономикалық шешімдер: БНТУ-дың 100 жылдығына арналған XVII Халықаралық ғылыми-практикалық конференцияның материалдар жинағы. – Минск: БНТУ, 2020. – Б. 92-93 (орыс тілінде)
6. Durrant-Whyte H., Bailey T. бір уақытта локализация және картаға түсіру (SLAM): I Бөлім. Негізгі алгоритмдер. Робототехникалық жүйелердің халықаралық журналы. – 2009. – №6(3). – Б. 1-9 (ағылшын тілінде)
7. Корецкая Г.А., Корецкий Д.С. Ашық тау-кен жұмыстарының маркшейдерлік түсірілім технологиясын жетілдіру. // КузГТУ хабаршысы. – 2013. – №3. – Б. 38-40 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Pantazis T., Pantazis J., Huber A., Redus R. The historical development of the thermoelectrically cooled X-ray detector and its impact on the portable and hand-held XRF industries. // X-Ray Spectrometry. – 2010. – Vol. 39. – №2. – P. 90-97 (in English)
2. Li F., Guo W., Gardner R.P. Implementation of the Monte Carlo-library least-squares approach to energy dispersive X-Ray fluorescence analysis. // Advances in X-Ray Analysis. – 2008. – №50. – P. 227-235 (in English)
3. Dosmukhamedov N.K., Lezin A.N. Razrabotka otechestvennykh priborov analiticheskogo kontrolya dlya predpriyatij gorno-metallurgicheskogo kompleksa Kazaxstana [Development of domestic analytical control devices for enterprises of the mining and metallurgical complex of Kazakhstan]. // Gornyy zhurnal Kazaxstana = Mining Journal of Kazakhstan. – Almaty, 2011. – № 10. – P. 30-35 (in Russian)
4. Nigmatulin A.M., Abdrakhmanova Z.T., Kan A.N., Efimenko S.A. Geofizicheskij monitoring soderzhanij serebra v rudax med'soderzhashix mestorozhdenij Zhezkazgan i Zhaman-Ajbat [Geophysical monitoring of silver content in ores of copper-containing deposits Zhezkazgan and Zhaman-Aybat]. // Geologiya, geoe'kologiya i resursnyj potencial Urala i sopredel'nyx territorij: Sbornik statej VII Vserossijskoj molodyozhnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem = Geology, Geoecology and resource potential of the Urals and adjacent territories: Collection of articles of the VII All-Russian Youth Conference with International Participation. – Ufa, 2019. – P. 131-137 (in Russian)
5. Kan A.N., Abdrakhmanova Z.T., Yun R.V., Efimenko S.A. Monitoring kachestva rud, otgruzhaemyx shaxtami i kar'erami GOK TOO «Korporaciya Kazakhmys» [Quality monitoring of ores shipped by mines and quarries of GOK Kazakhmys Corporation LLP. // Mineral'no-syr'evoy kompleks: inzhenernye i e'konomicheskie resheniya: sbornik materialov XVII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashhennoj 100-letiyu BNTU = Mineral resource complex: engineering and economic solutions: a collection of materials of the XVII International Scientific and Practical Conference dedicated to the 100th anniversary of BNTU. – Minsk: BNTU, 2020. – P. 92-93 (in Russian)
6. Durrant-Whyte H., Bailey T. Simultaneous Localization and Mapping (SLAM): Part I. The Essential Algorithms. // International Journal of Advanced Robotic Systems. – 2009. – №6(3). – P. 1-9 (in English)

7. *Koretskaya G.A., Koretsky D.S. Sovershenstvovanie texnologij markshejderskix s"yomok otkrytyx gornyx rabot [Improving the technologies of surveying surveys of open-pit mining]. // Vestnik KuzGTU = Bulletin of KuzSTU. – 2013. – №3. – P. 38-40 (in Russian)*

Сведения об авторах:

Тулешов А.К., д-р техн. наук, профессор, академик Национальной Инженерной академии РК, генеральный директор Института механики и машиноведения им. У.А. Джолдасбекова (г. Алматы, Казахстан), aman_58@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0001-9775-3049>

Лезин А.Н., канд. техн. наук, научный руководитель Товарищества с ограниченной ответственностью «АспапГЕО» (г. Алматы, Казахстан), geophysic@inbox.ru; <http://orcid.org/0000-0001-7380-7014>

Досмухамедов Н.К., канд. техн. наук, профессор кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), nurdos@bk.ru; <http://orcid.org/0000-0002-1210-4363>

Токенов Н.М., магистр техн. наук, главный научный сотрудник Товарищества с ограниченной ответственностью «АспапГЕО» (г. Алматы, Казахстан), <http://orcid.org/0000-0002-9211-6187>

Авторлар туралы мәліметтер:

Тулешов А.К., техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР Ұлттық Инженерлік академиясының академигі, Ө.А. Жолдасбеков Механика және машинатану институтының бас директоры (Алматы қ., Қазақстан)

Лезин А.Н., техника ғылымдарының кандидаты, «АспапГЕО» Жауапкершілігі шектеулі серіктестігінің ғылыми жетекшісі (Алматы қ., Қазақстан)

Досмухамедов Н.К., техника ғылымдарының кандидаты, Satbayev University, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

Токенов Н.М., технология магистрі, «АспапГЕО» Жауапкершілігі шектеулі серіктестігінің бас ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Tuleshov A.K., Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the National Academy of Engineering of the Republic of Kazakhstan, General Manager of the Institute of Mechanics and Engineering Science named after U.A. Dzholdasbekov (Almaty, Kazakhstan)

Lezin A.N., PhD, Scientific Supervisor of the Limited Liability Partnership «AspapGEO» (Almaty, Kazakhstan)

Dosmukhamedov N.K., PhD, Associate Professor, Professor of the Department of Metallurgy and Mineral Processing at Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), Senior Researcher at the Higher Attestation Commission

Tokenov N.M., Master Degree, Chief Researcher of the Limited Liability Partnership «AspapGEO» (Almaty, Kazakhstan)



ТОО «ДУАЛ ГРУПП»
Казахстан, Нур-Султан

+7 (707) 394 66 60
info@dual-group.net
www.dual-group.net

Системы быстрой заправки

Мы предлагаем:

Краны топливозаправочные
Заправочные и вентиляционные клапаны
Счетчики и насосы
Заправки (АЗС) и топливозаправщики
со скоростью заправки до 1500 л/мин
Эксплуатация от -60 С до +50 С

