

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

ПРОХОДЧЕСКИЙ КОМБАЙН ГИРОСКОПИЧЕСКОГО ТИПА – БАЗОВАЯ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННАЯ ГОРНАЯ МАШИНА ДЛЯ ИННОВАЦИОННЫХ ПОДЗЕМНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

В.А. Бобин, зав. отд. Института проблем комплексного освоения недр РАН, д-р техн. наук, bobin_va@mail.ru

Добыча шахтного метана сдерживает в основном темпы и объем добычи угля, а статье предлагается технология совместной добычи угля и шахтного метана роботизированными горными машинами гироскопического типа. Реализация новой технологии предполагает разработку и создание энергоэффективного ПКгиро, шлюзовой камеры для транспортирования добытого угля из изолированной зоны в откаточный штрек, а также систем мониторинга его технического состояния и концентрации метана в изолированной добычной зоне.

Предлагается полностью подземный способ добычи алмазов. Это позволит всю технологию извлечения алмазов осуществлять непосредственно в подземном пространстве, в несколько раз сократить энергетические затраты на добычу алмазов и ликвидировать образование новых отвалов пустой породы и хвостохранилищ на поверхности.

Ключевые слова: проходческий комбайн гироскопического типа (ПКгиро), горная машина, инновационные подземные технологии, одновременное извлечения угля и шахтного метана, добыча алмазов, экология, 3Д-сканер, 3Д-строительный принтер, закладка, вяжущий состав.

ROADHEADER OF GYROSCOPIC TYPE – BASIC ELECTRIZED MINING MACHINE FOR INNOVATIVE TECHNOLOGY UNDERGROUND MINING

V.A. Bobin, Head of Department, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS, Ph.D. of Engineering, bobin_va@mail.ru

Extraction of coal mine methane mainly inhibits the pace and volume of coal production while this article proposes the technology of combined coal mining and coal mine methane by robotic mining machines of gyroscopic type. Implementation of new technologies presumes the development and creation of energy efficient Roadheader of Gyroscopic Type, airlock for transportation of coal produced from the isolated zone in the haulage drift, and also systems of monitoring of its technical condition and the concentration of methane in an isolated mining area. The article suggests fully underground diamond mining. This will allow diamond recovery carried out completely underground, several times to reducing the energy cost of mining and elimination of the formation of new waste dumps and tailings on the surface.

Keywords: roadheader gyroscopic type, mining machine, underground innovative technology of simultaneous extraction of coal and methane, diamond mining, ecology, 3D scanner, 3D building printer, bookmark, binder composition.

В последнее десятилетие отмечено появлением нового типа горных машин, которые названы их создателями гироскопическими горными машинами (ГГМ) [1–2] и которые представляют собой устройства, позволяющие безударно (истиранием) дезинтегрировать горные породы,

причем усилие истирания создается не за счет сил тяжести, сил упругости пружин или гидравлических сил, а за счет гироскопических сил, значение которых не зависит от ускорения свободного падения, что в перспективе позволит применять их для извлечения полезных ископаемых на Луне и Марсе, где сила тяжести соответственно в 6 и 3 раза меньше, чем на Земле.

Экспериментальные исследования, проведенные с помощью лабораторного образца гироскопической мельницы, первой в ряду ГГМ, показали, что она позволяет истирать горные породы различной крепости от фракции 5–7 мм до фракции 60–80 мкм с эффективностью не хуже 3–5 кВтч/т [3–4].

Конструкция гироскопической мельницы послужила основой для разработки схемы ПКгиро (рис. 1).

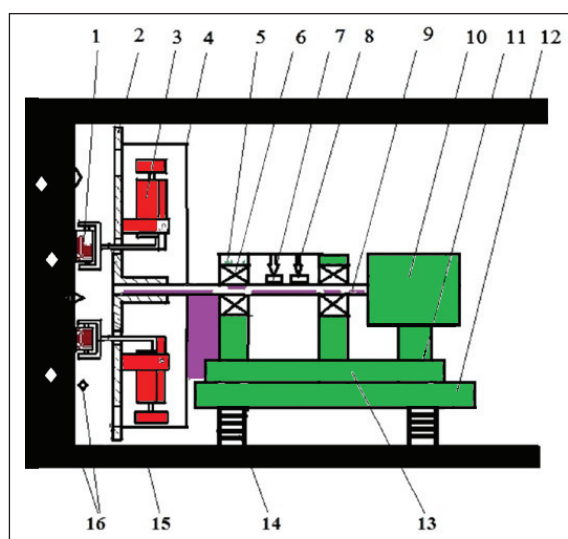


Рис. 1. Схема ПКгиро

1 – рабочий орган, 2 – монтажный диск, 3 – гироскоп, 4 – защитный кожух, 5 – опора вала, 6 – подшипник, 7 – подвижный контакт, 8 – неподвижный контакт, 9 – вал с муфтой, 10 – двигатель с редуктором, 11 – опора двигателя, 12 – платформа, 13 – поворотная турель, 14 – гусеничные траки, 15 – рудное тело, 16 – природные алмазы

Основными элементами конструкции проходческого комбайна гироскопического типа являются рабочий орган (1), представляющий собой вращающийся вокруг своей оси цилиндр или не вращающуюся полусферу, изготовленные из прочного износостойкого материала, монтажный диск (2), на котором установлены двухступенные гироскопы (3), создающие усилия истирания и управляющие работой рабочих органов. Число рабочих органов подбирается так, чтобы перекрыть всю поверхность забоя. Двухступенные гироскопы накрыты защитным кожухом (4). Монтажный диск закреплен на вращающемся валу (9), установленном на опоре (5) в подшипниках (6). Электрическая энергия для двигателей гироскопов подается через контакты (7,8) и вал (9), который через муфту соединяется с силовым двигателем (10), установленным на опоре (11). Все элементы ПКгиро размещаются на поворотной турели (13) и платформе (12), перемещаемой вдоль пласта породы, например, или по рельсам, или на гусеничном ходу (14).

Благодаря рабочим органам, управляемым двухступенными гироскопами с рассчитанной скоростью ПКгиро втирается в пласт рудного тела (15) так, чтобы обеспечить размер фракции отделяемых частиц породы не более 0,1 мм, что обеспечит тонкое измельчение и дальнейшее извлечение полезного компонента руды, например, алмазов (16).

Такой подход к созданию предпосылок появления совершенного нового типа проходческих щитов свидетельствует о возможности достижения прорывных результатов в области преодоления ресурсных ограничений на рынке проходческих комбайнов, а также о новизне подходов и значимости решаемых задач с точки зрения усиления конкурентных позиций отечественных производителей.

Область использования ПКГиро определяется не только разведкой и добычей полезных ископаемых в горных породах, но и распространяется на строительство тоннелей для железнодорожного транспорта и метрополитена, а также транспортировку различных грузов по горным породам на значительные расстояния и глубины.

Естественно создание роботизированного проходческого комбайна гироскопического типа требует наличия инерционной системы навигации и различных видов связи в подземном пространстве.

Наличие серийно выпускаемых ПКГиро позволит реализовать инновационную технологию одновременной добычи угля и метана, что продвинет решение проблемы безлюдной добычи угля и обеспечит полную извлекаемость метана из угольного вещества и абсолютную безопасную их добычу.

Известно, что существующие методы добычи шахтного метана представляют собой технологии, созданные еще во второй половине XX века. Их применение сдерживается зависимостью процесса от сложных горно-геологических условий, глубины залегания угольных пластов, а также экологическими требованиями и необходимостью постоянного контроля и дополнительными затратами на интенсификацию процесса газовыделения метана из угля. И, наконец, все эти методы добычи значительно снижают темпы и объем добычи угля.

Все это определяет необходимость разработки принципиально нового метода добычи шахтного метана предлагаемого в виде экологически чистой технологии совместной добычи угля и шахтного метана роботизированными горными машинами гироскопического типа.

Эта технология позволит обеспечить высокие темпы добычи угля с одновременной добычей шахтного метана высокой концентрации за счет использования роботизированных ПКГиро для добычи угля и метана в изолированных добычных зонах в условиях повышенной, но взрывобезопасной, концентрации метана.

Реализация новой технологии предполагает разработку и созданию энергоэффективного ПКГиро, шлюзовой камеры для транспортирования добытого угля из изолированной зоны в откаточный штрек, а также систем мониторинга его технического состояния и концентрации метана в изолированной добычной зоне. Поисковые исследования в этом направлении были сделаны в работе [1].

Сущность предлагаемой совместной добычи угля и метана, поясненная на рис. 2, заключается в следующем: 1) подготовленная к разработке лава (5) изолируется от выработанного пространства шахты (7), а связь с ним осуществляется через специальные шлюзовые камеры (3, 11), таким образом создается изолированная добычная зона, 2) ПКГиро (8) размещается в изолированной добычной зоне, 3) он начинает работать тогда, когда концентрация метана в изолированной добычной зоне достигнет взрывобезопасного значения, 4) параллельно поверхности лавы с рассчитанной скоростью ПКГиро углубляется в угольный пласт (1) на заданное расстояние, при этом гранулометрический состав отделяемых частиц угля должен быть не более 0,1 мм, что обеспечит быструю их дегазацию с выходом практически всего метана сосредоточенного в угле, 5) отбитый и дегазированный уголь через транспортер (9) перемещается через откаточный штрек (10), а выделившийся метан откачивается через метанопровод (2) на поверхность, 6) работа ПКГиро продолжается до тех пор, пока не будет переработан весь уголь в лаве в пределах изолированной добычной зоны, 7) на всех этапах выделяющийся из угля метан по специальному трубопроводу перемещается на поверхность и далее после очистки направляется к потребителю.

Безопасность проводимых работ по добыче угля и метана, а также устойчивость выработанного пространства и земной поверхности над выработками возможно обеспечить за счет закладки выработанного пространства, осуществляемого параллельно с добычей угля и метана.

В результате осуществления технологии совместной добычи угля и содержащегося в нем метана будет обеспечена безопасная во всех отношениях безлюдная добыча угля и метана с высокой степенью извлечения (порядка 95–98 %).

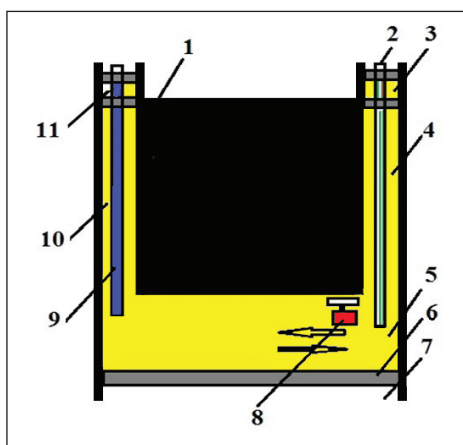


Рис. 2. Схема предлагаемой технологии совместной добычи угля и метана

1 – угольный пласт; 2 – метанопровод; 3, 11 – шлюзовые камеры; 4 – вентиляционный штрек, 5 – лава; 6 – герметичная перегородка; 7 – выработанное пространство; 8 – ПКГиро; 9 – транспортер; 10 – откаточный штрек

Таким образом, инновационная технология совместной добычи угля и шахтного метана, базовым элементом которой является ПКГиро, представляет собой технологию безлюдной добычи угля и метана, опирающейся на самые современные научные результаты в области разрушения горных пород.

Другим примером использования ПКГиро в качестве базового элемента является инновационная идея подземной технологии извлечения алмазов из коренных пород и закладки выработанного пространства пустой кимберлитовой породой с использованием 3Д-сканера и 3Д-строительного принтера.

Технология подземной добычи алмазов подразумевает добычу кимберлитовой породы, содержащей алмазы с уникальными физическими свойствами, подземным способом и собственно извлечение из нее уже на поверхности на обогатительных фабриках алмазов. Неизбежными последствиями работы обогатительных фабрик являются отвалы пустой кимберлитовой породы и хвостохранилища с защитными плотинами, которые в большей мере и создают экологические риски. Среди них основными являются изъятие и загрязнение земель в месте расположения объектов подземной добычи алмазов; снижение уровня и загрязнение грунтовых и межпластовых подземных вод; загрязнение атмосферного воздуха пылью с отвалов; риск прорыва плотины хвостохранилища и некоторые другие.

Кардинальное решение экологических проблем технологии добычи алмазов подземным способом возможно только в том случае, если переместить все ее этапы осуществления непосредственно под землю.

Этапы существующей технологии подземной добычи алмазов представляют собой последовательность следующих операций: 1) проходка подземных выработок с дроблением ко-

ренных кимберлитовых пород с помощью проходческих комбайнов и последующую их закладку песчано-цементной смесью; 2) транспортировка раздробленной кимберлитовой породы среднего размера фракции 100 мм с помощью погрузочно-разгрузочных машин и транспортера с 3) последующим подъемом на поверхность всей добытой руды и 4) обогащение ее на фабриках с извлечением алмазов.

Результаты использования этой технологии добычи алмазов хорошо видны на примере работы рудника «Мир», который с 2009 года на трубке «Мир», алмазы которой отличаются высоким качеством, их среднее содержание составляет 3,29 карата на тонну. Согласно кодексу JORC, запасов рудника при нынешних содержаниях достаточно для ведения добычи при достигнутой проектной мощности 1 млн т руды год вплоть до 2043 г. В 2014 г. здесь было добыто всего 1,463 млн карат алмазов, или около 300 кг алмазов, в 2015 г. объем добычи алмазов составил уже 2,198 млн карат, или около 450 кг алмазов, хотя согласно содержанию алмазов добыча должна была составить 3,29 млн карат, или 675 кг алмазов [5]. Эти данные показывают, что существующая технология пока обеспечила в 2014 г. извлечение только 45 %, а в 2015 г. – 67 % алмазов, содержащихся в кимберлитовой руде, остальные перемещаются в отвалы и хвостохранилища.

Другими словами для того, что получить такое количество алмазов приходится не только отделить от коренных пород 1 млн т руды, но и транспортировать ее и поднимать на поверхность, далее везти ее на обогатительную фабрику для переработки. После этого отработанная порода перемещается в отвалы и хвостохранилища, что нарушает экологию местности. И в завершении технологической цепочки используют песчано-цементную смесь для закладки выработанного пространства объемом не менее тех же 1 млн т, перемещая ее с поверхности в закладываемые горные выработки. Это поистине почти сизифова работа в отношении операций подъема руды из горных выработок на поверхность и транспортировки такого же количества по весу и объему закладочной смеси в те же отработанные выработки.

Анализ всех технологических операций традиционной технологии подземной добычи алмазов показывает, во-первых, что современные образцы проходческих комбайнов для добычи алмазов, например, комбайны вращательно-ударного дробления серии Sandvik MR360 представляют собой громоздкую (вес порядка 52 т) технику, потребляющую 360 кВтчас электроэнергии. При этом они реализуют традиционный процесс разрушения горных пород с помощью рабочих органов (зубьев), закрепленных на диске, что не позволяет регулировать усилия разрушения и подачу рабочего органа в зависимости от твердости кимберлитовой породы, что делает процесс разрушения неэффективным.

Кроме того, при разрушении горной породы зубья с такой же силой дробят алмазы, как и кимберлитовую породу, что не обеспечивает сохранность кристаллов алмазов, превращая крупные алмазы в алмазы меньшего размера.

Далее отбитая комбайнами кимберлитовая порода среднего размера 100 мм специальными погрузочно-разгрузочными машинами, мощностью порядка 100 кВт транспортируется к стволам и потом поднимается на поверхность, где на обогатительных фабриках подвергается измельчению дробилками валкового типа и мельницами мокрого самоизмельчения [6–7]. Эффективность работы комбайнов этого типа можно оценить по их работе на руднике «Мир», где используются 9 комбайнов, добывающих около 1 млн т кимберлитовой руды.

Учитывая в расчетах время работы комбайнов 300 дней по 21 часу в день (3 смены по 7 часов), получаем, что энергетические затраты на его работу составляет 24–30 кВтчас/т кимберлитовой руды.

Если же учесть энергетические затраты на погрузочные работы (6–7 кВтчас/т), транспортировку по конвейеру длиной 1300 м (35–40 кВтчас/т), подъем скиповым подъемником на поверхность (60–70 кВтчас/т) и переработку поднятой руды на обогатительной фабрике (150–200 кВтчас/т, а также энергетические затраты на послейную закладку выработанно-

го пространства (3–4 кВтчас/т), то энергетические затраты на эти операции составят 254–320 кВтчас/т, что, по крайней мере, в 10–11 раз выше по сравнению с энергетическими затратами, связанными с работой комбайна, и составят уже цифру 275–351 кВтчас/т кимберлитовой руды. Таким образом, на добычу одного миллиона этой руды затрачивается 300 млн кВтчас электроэнергии, что составляет 11 % всей энергии, вырабатываемой Виллюйской ГЭС.

Что же касается послойной закладки выработанного пространства, то с энергетической и материальной точки зрения она представляет собой дорогостоящую технологическую операцию, включающую подготовку песчано-цементной смеси, объемом не менее той кимберлитовой породы, которая поднимается на поверхность и доставляется на обогатительную фабрику. А это не менее 1 млн т цемента высокого качества плюс дорогостоящие пластификаторы, добавки, обеспечивающие твердение смеси, а также не простой по конструкции и обслуживанию трубопроводный транспорт, обеспечивающий доставку смеси к выработанному пространству.

И все равно при формировании закладочных массивов не достигается 100 % сплошность среды. Закладочные массивы, как показывает практика, становятся по структуре анизотропными, что предопределяется расслоением смеси в процессе закладочных работ. Помимо этого, на руднике «Мир» после заполнения выработанного пространства трудно обеспечить сцепление (адгезию) между соленасыщенными вмещающими породами и закладкой. Соль будет растворяться и вымываться водой, При этом из-за отдаваемой закладкой водой в процессе твердения между искусственным и породным массивом будет образовываться водопроводящий канал.

В табл. 1 представлены оценочные данные об энергетических затратах на традиционную добычу алмазов подземным способом.

Таблица 1

№	Вид технологической операции	Энергетические затраты на тонну руды, кВтчас
1	Проходка подземных выработок с дроблением коренных кимберлитовых пород	24–30
2	Погрузка и транспортировка раздробленной кимберлитовой породы к скипам	41–47
3	Подъемом на поверхность всей добытой породы	60–70
4	Обогащение на фабриках с извлечением алмазов.	150–200
5	Закладка выработанного пространства	3–4
	Общие затраты	275–351

Анализ данных табл. 1 показывает, что если из существующего технологического процесса исключить 2-ю, 3-ю и 5-ю операции, то удастся сократить энергетические затраты, т.е. повысить эффективность процесса, сразу на 37%. А если, кроме того, совместить отбойку кимберлитовой руды и процесс обогащения алмазов, то затраты снизятся еще существенно. Чтобы достигнуть резкого повышения эффективности добычи алмазов подземным способом, необходимо не дробить кимберлитовую руду до среднего размера 100 мм, а потом перерабатывать ее на обогатительной фабрике, а сразу еще в подземной выработке дезинтегрировать ее до размера 50–80 мкм, чтобы не пропустить технические алмазы, и одновременно отделять пустую породу от алмазов, используя дифференцированное разделение. При этом пустую породу необходимо использовать как закладочный материал для обеспечения устойчивости пройденных выработок и безопасности ведения горных работ.

Эти соображения позволяют предложить новую инновационную экологически чистую технологию подземной добычи алмазов, идея которой состоит в том, чтобы не поднимать на поверхность руду, а перерабатывать ее в подземном пространстве с помощью специальных проходческих комбайнов гироскопического типа [2, 4].

При этом ПКГиро будет истирать коренную кимберлитовую руду до частиц фракционного состава порядка 50–80 мкм, что позволит без нарушения структуры кристаллов алмазов и полной их сохранности извлекать из дезинтегрированной породы сразу за ПКширо алмазосодержащую породу размером фракции большей, чем 50–80 мкм, а затем алмазосодержащую породу фракции 50–80 мкм подвергать, например, липкостной сепарации, извлекая мельчайшие алмазы. Оставшаяся пустая порода фракции 50–80 мкм будет направлять вместе с вязущим составом в головку 3Д-строительного принтера, который будет закладывать выработанное ПКГиро пространство кимберлитовой трубки в режиме on-line прочностью не менее прочности коренных пород и без всякой усадки. При этом работой 3Д-строительного принтера будет управлять 3Д-сканер, создающий трехмерную цифровую модель выработанного пространства.

Такая технология добычи алмазов исключительно подземным способом позволит отделять из дезинтегрированной породы алмазы практически всех размеров от мельчайших технических до крупных ювелирных и именных без нарушения их природной структуры в полной сохранности.

Основные конкурентные преимущества ПКГиро, а именно: энергоэффективность, высокая производительность и низкая металлоемкость будут достигнуты за счет нового гироскопического принципа создания усилий разрушения горных пород при добыче полезных ископаемых и проходке горных выработок [3].

В табл. 2 представлены оценочные данные по энергетическим затратам на реализацию новой инновационной технологии.

Сравнительный анализ данных табл 1 и 2 показывает, что с энергетической точки зрения предлагаемая технологии добычи алмазов с помощью ПКГиро и закладки выработанного пространства с помощью 3Д-строительного принтера и 3Д-сканера будет, по крайней мере, в 6–7 раз эффективнее, чем существующая технология.

Таблица 2

№	Вид технологической операции	Энергетические затраты на тонну руды, кВтчас
1	Проходка подземных выработок с дроблением коренных кимберлитовых пород с одновременным извлечением алмазов	42–50
2	Закладка выработанного пространства	3–4
	Общие затраты	45–54

Кроме того, за счет использования ПКГиро удастся снизить число технологических операций с 5 до 2, т.к. новый комбайн, истирая кимберлитовую породу до размера порядка 50–80 микрон, позволит одновременно отсеивать от пустой породы алмазы практически всех размеров от мельчайших технических до крупных ювелирных и именных без нарушения их природной структуры в полной сохранности.

В результате реализации этой предлагаемой технологии на поверхность будут подниматься исключительно алмазы в первоначальном природном состоянии без всяких нарушений структуры и формы, а окружающий рудник природный ландшафт не будет обезображен отвалами и хвостохранилищами.

Заключение

Таким образом, по результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Использование ПКГиро в качестве базового элемента технологии позволяет в роботизированном варианте одновременно добывать уголь и метан, опираясь на самые современные научные результаты в области разрушения горных пород, устойчивости горных выработок в сложном напряженно-деформированном состоянии, современных горных машин, навигации в подземном пространстве и безопасности ведения горных работ с соблюдением экологических стандартов.

2. Научное обоснование технологии совместной добычи угля и метана ПКГиро включает поиск критериев оптимального значения концентрации метана в изолированной добычной зоне. Значительных усилий требует и создание принципиально нового ПКГиро.

3. Применение ПКГиро совместно с 3Д-сканером и 3Д-строительным принтером для подземной добычи алмазов позволит исключить такие операции как доставку кимберлитовой руды на поверхность, обогащение ее на фабриках и закладку выработанного пространства цементно-песчаной смесью, что в свою очередь обеспечит получение исключительно только алмазов в виде цельных природных кристаллов высокой степени сохранности при значительном сокращении энергии на добычу алмазов и ликвидации образования новых отвалов пустой породы и хвостохранилищ на поверхности.

Создание новой гироскопической машины (ПКГиро), 3Д-сканера и 3Д-строительного принтера имеют далеко идущую перспективу ее применения на Луне при строительстве в роботизированном варианте постоянных лунных баз и переработки лунного реголита для извлечения гелия-3, титана, кислорода и водорода и других важных для проживания людей полезных компонентов, а также для создания и развития горнодобывающей индустрии на Луне.

Создание этой новой техники будет свидетельствовать о высоком уровне развития горной промышленности и соответствия их самым современным требованиям за счет использования авиационно-космических технологий и научных разработок, закладывающих основы нового направления в области горной механики «Гироскопические горные машины», а использование 3Д-строительного принтера совместно со сканером будет первым опытом применения новейшей технологии строительства в горной промышленности.

Появление совершенно новой техники для реализации новых технологий подземной добычи полезных ископаемых будет доказательством уникальности предлагаемого подхода к решению актуальных задач добывающей промышленности. При этом достижение прорывных результатов в области преодоления ресурсных ограничений на рынке проходческих комбайнов будет показателем новизны подходов и значимости решаемых задач с точки зрения усиления конкурентных позиций отечественных производителей.

Список литературы

1. Бобин В.А., Ланюк А.Н. Новый способ добычи метана высокой концентрации при разработке угольных пластов. ГИАБ, Тематическое приложение «Метан», МГГУ, 2005, с. 50–55.
2. Бобин В.А., Покаместов А.В., Бобина А.В. Гироскопическая мельница – новая безударная техника для измельчения руд. Горный журнал № 10, 2011, с. 70–72.
3. Бобин В.А., Чернегов Ю.А. Гироскопическая мельница. Технологический прорыв в горном деле. Изд. Технологии мира, № 6(24), 2010, с. 25–27.
4. Бобин В.А., Ланюк А.Н. Математическое моделирование процесса взаимодействия силового органа гироскопической терочной мельницы с твердой измельченной породой. ГИАБ, МГГУ, 2009, № 3, стр. 401–404.
5. Официальный сайт Мирнинского ГОКа. Available at: <http://www.alrosa.ru/corporate-structure/> (режим доступа свободный).

6. Шишкин А.А., Миронов А.П. Исследование сохранности природного качества алмазов в процессе дезинтеграции кимберлитов в мельницах мокрого рудного самоизмельчения SVEDALA 50×23 EGL. Вестник ИрГТУ. Иркутск. Изд-во ИрГТУ, 2013. № 5 (76). С. 127–130.

7. Шишкин А.А., Ястребов К.Л. Изучение физики разрушения горных пород трением. Вестник ИрГТУ. Иркутск. Изд-во ИрГТУ, 2012. № 10 (69). С. 194–197.

References

1. Bobin V.A., Lanik A.N. (2005) *Novyy sposob dobychi metana vysokoy kontsentratsii pri razrabotke ugol'nykh plastov* [A new method of producing methane of high concentration in the coal mines] *GIAB, Tematicheskoe prilozhenie «Metan», MGGU* [GIAB, «Methane» Appendix to mining journal, Moscow state mining University], pp. 50–55.

2. Bobin V.A., Pokamestov A.V., Bobina A.V. (2011) *Giroskopicheskaya mel'nitsa – novaya bezudarnaya tekhnika dlya izmel'cheniya rud* [Gyroscopic mill – new unstressed equipment for crushing ore] *Mining journal* [Gornyy zhurnal]. No. 10, pp. 70–72.

3. Bobin V.A., Chernegov Y.A. (2010) *Giroskopicheskaya mel'nitsa. Tekhnologicheskyy proryv v gornom dele. Izd. Tekhnologii mira* [Gyroscopic mill. A technological breakthrough in mining. The world technology]. No. 6(24), pp. 25–27.

4. Bobin V.A., Lanik A.N. (2009) *Matematicheskoe modelirovaniye protsessa vzaimodeystviya silovogo organa giroskopicheskoy terochnoy mel'nitsy s tverdoy izmel'chennoy porodoy* [Mathematical modeling of the process of interaction of the power body of a gyroscopic grinding mill with a solid crushed rock] *GIAB, MGGU* [MINING, Moscow state mining University]. No. 3, pp. 401–404.

5. *Ofitsial'nyy sayt Mirninskogo GOKa* [Official website of Mirny Mining and processing plant]. Available at: [http://www.alrosa.ru/corporate-structure/\(free access mode\)](http://www.alrosa.ru/corporate-structure/(free%20access%20mode)).

6. Shishkin A.A., Mironov A.P. (2013) *Issledovanie sokhrannosti prirodnogo kachestva almazov v protsesse dezintegratsii kimberlitov v mel'nitsakh mokrogo rudnogo samoizmel'cheniya SVEDALA 50×23 EGL* [The study of the preservation of the natural qualities of diamonds in the process of disintegration of kimberlites in mills of wet self-crushing of ore SVEDALA 50×23 EGL] *Vestnik IrGTU. Izd-vo IrGTU* [Bulletin ISTU. Publishing house of ISTU]. Irkutsk. No. 5 (76), pp. 127–130.

7. Shishkin A.A., Yastrebov K.L. (2012) *Izuchenie fiziki razrusheniya gornykh porod treniem* [Study of the physics of destruction of rocks by friction] *Vestnik IrGTU. Izd-vo IrGTU* [Bulletin of ISTU. Publishing house of ISTU]. Irkutsk. No. 10 (69), pp. 194–197.