

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БЕЗВЗРЫВНЫХ СПОСОБОВ РАЗРАБОТКИ КРЕПКИХ ГОРНЫХ ПОРОД НА КАРЬЕРАХ

**А. В. Ложников**

Государственное ВУЗ «Национальный горный университет»

просп. Карла Маркса, 19, г. Днепропетровск, 49005, Украина. E-mail: 19830328a@gmail.com

Обоснован выбор целесообразных технологических решений по безвзрывной подготовке крепких горных пород к выемке при открытой разработке месторождений. Рассмотрены основные виды полезных ископаемых, которые можно разрабатывать без применения взрывчатых веществ. Установлены зависимости производительности горного оборудования для безвзрывной разработки от крепости горных пород. Приведен мировой опыт использования горного оборудования для безвзрывной разработки крепких горных пород на карьерах. Выполнен сравнительный анализ существующих безвзрывных технологических решений по разработке крепких горных пород с технологией разработки, включающей буровзрывные работы.

**Ключевые слова:** крепкие горные породы, безвзрывная разработка месторождений, трещиноватость пород.

## ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗВИБУХОВИХ СПОСОБІВ РОЗРОБКИ МІЦНИХ ГІРСЬКИХ ПОРІД НА КАР'ЄРАХ

**О. В. Ложніков**

Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»

просп. Карла Маркса, 19, м. Дніпропетровськ, 49005, Україна. E-mail: 19830328a@gmail.com

Обґрунтований вибір доцільних технологічних рішень щодо безвибухової розробки міцних гірських порід. Розглянуто основні види корисних копалин, які можна розробляти без застосування вибухових речовин. Встановлено залежності продуктивності гірничого обладнання для безвибухової розробки від міцності гірських порід. Наведено світовий досвід використання гірничого обладнання для безвибухової розробки міцних гірських порід на кар'єрах. Виконано порівняльний аналіз існуючих безвибухових технологічних рішень з розробки міцних гірських порід з технологією розробки, що включає буровибухові роботи.

**Ключові слова:** міцні гірські породи, безвибухова розробка родовищ, тріщинуватість порід.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** Повышение экономического уровня жизни человека предполагает увеличение объемов потребления продуктов, изготовленных из различных видов полезных ископаемых. В настоящее время, потребление нерудных строительных материалов в промышленности экономически развитых стран требует разработки 12–16 т полезных ископаемых на человека в год [1].

Возможность уменьшения этого показателя зависит от разработки, внедрения и использования новых ресурсосберегающих технологий при извлечении полезных ископаемых, а также при выполнении производственных процессов для создания готовой продукции. Внедрение результатов этих исследований позволит уменьшить объемы разработки полезных ископаемых, за счет снижения уровня их потерь при извлечении из массива и дальнейшего комплексного использования в промышленности.

Следует отметить, что большую часть разрабатываемых нерудных полезных ископаемых для производства строительных материалов представляют крепкие горные породы, при извлечении которых из монолитного массива требуется применение буровзрывного способа, имеющего имеет как ряд преимуществ, так и ряд недостатков.

Существующие экологические проблемы при применении буровзрывного способа подготовки горной массы к выемочно-погрузочным работам обуславливают цель работы – разработка новых безвзрывных технологических схем и решений по извлечению крепких горных пород из массива.

**МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.** Совершенствование современных технологических решений по разработке крепких пород безвзрывным

способом вызвано необходимостью повышения экологических требований к открытой разработке и уменьшения размеров санитарно-защитной зоны карьеров.

Буровзрывные работы, как правило, применяются при разработке песчано-гравийных, изверженных, осадочных скальных и метаморфических пород с диапазоном крепости на сжатие 20–150 МПа и более. Исключением являются породы крепостью до 10 МПа, представленные песками, суглинками, глинами и лессами [2].

Извлечение горных пород повышенной крепости – более 10 МПа – требует предварительной подготовки горного массива к выемочно-погрузочным работам. Для этого, как правило, используют буровзрывные работы, основными преимуществами которых является доступность инструментов производства, относительно низкая себестоимость подготовительных работ в сравнении с альтернативными способами разработки, а также высокая производственная мощность карьеров по вскрыше и полезному ископаемому.

К недостаткам буровзрывного способа подготовки горного массива к выемочно-погрузочным работам следует отнести негативное влияние на экологическое состояние территорий, прилегающих к карьере: выбросы в атмосферу пыли и газов, шум, сейсмическое воздействие на инфраструктуру. Эти виды воздействия в ряде случаев, когда существует угроза здоровью и жизни людей в близлежащих населенных пунктах, могут стать причиной отказа в выдаче лицензии на разработку месторождения либо прекращения работы предприятия.

Анализ существующей технологической схемы подготовки горных пород к выемочно-погрузочным работам посредством буровзрывных работ позволяет установить полный цикл технологических процессов переработки полезного ископаемого, который составляет цепочку из шести звеньев: бурение → взрыв → погрузка → транспортировка → дробление → переработка.

Безвзрывные способы подготовки крепких пород к выемочно-погрузочным работам предусматривают изменение процессов, предполагаемых при буровзрывном способе подготовки, по причине их совмещения или исключения.

Как показывает анализ выполненных научно-исследовательских работ по альтернативным способам подготовки крепких горных пород к выемке, в их основе лежит механическое разрушение массива горных пород рабочим органом выемочно-погрузочной машины. Основным горным оборудованием, применяемым для механического разрушения массива крепких пород, является:

- гидравлический экскаватор с гидравлическим молотом;
- гидравлический экскаватор с заменой ковша на зуб-рыхлитель;
- бульдозер-рыхлитель;
- гидравлический расклинователь;
- фрезерный комбайн.

Выбор определенного вида подготовительного и выемочно-погрузочного оборудования зависит от физических свойств горных пород и требуемого размера товарной продукции, производимой из полезного ископаемого. Опыт использования на практике рассмотренного оборудования приведен ниже.

*Гидравлический экскаватор с гидравлическим молотом* используется для выполнения ударного разрушения крепких горных пород, находящихся в массиве, а по принципу действия сопоставим с разрушением негабарита [3]. Конструктивная особенность заключается в том, что гидравлический молот, устанавливается на гидравлический экскаватор вместо ковша, который производит отбойку уступа с верхней или нижней рабочей площадки (рис. 1).

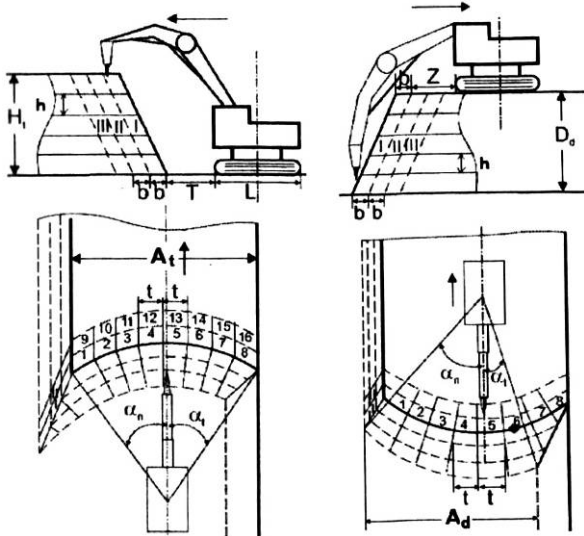


Рисунок 1 – Работа экскаватора с гидравлическим молотом при отработке уступа

Основной целью этого технологического решения на карьерах является уменьшение негативного воздействия на окружающую среду путем исключения процесса буровзрывных работ. Область применения ограничивается крепостью горных пород 130 МПа и часовой производственной мощностью карьера до 550 т.

На производственную мощность карьера влияют ширина заходки экскаватора, высота обрабатываемого уступа и масса рабочего органа экскаватора, представленного гидравлическим молотом. Согласно выполненным исследованиям наибольшее влияние на производительности экскаватора имеет масса гидравлического молота, который производит отбойку горного массива. График зависимости производительности экскаватора от массы его гидравлического молота, представлен на рис. 2.

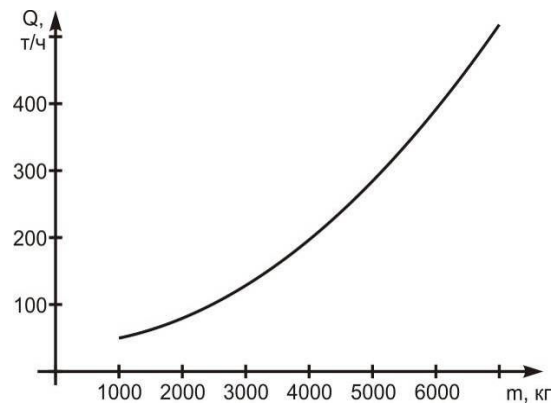


Рисунок 2 – Зависимость производительности экскаватора от массы гидравлического молота

Как видно из графика зависимости (рис. 2), при увеличении массы гидравлического молота в семь раз – до 7000 т, производительность экскаватора увеличивается до 10 раз.

Экспериментальный опыт применения рассмотренной технологической схемы был получен во Вьетнаме [3] при разработке известняковых карьеров производительностью до 1 млн. т готовой продукции. Результатом его использования стало сокращение количества процессов горных работ с шести до пяти: отбойка → погрузка → транспортировка → дробление → переработка.

Подтвержденные на практике показатели производительности позволяют сделать вывод о том, что использование гидравлического молота в качестве элемента альтернативной безвзрывной технологии разработки крепких горных пород перспективен для применения на карьерах небольшой мощности.

*Гидравлический экскаватор с попеременной заменой ковша на зуб-рыхлитель* выполняет отработку трещиноватых горных пород крепостью на сжатие до 100 МПа нижним черпанием, находясь на верхней рабочей площадке уступа. Использование зубарыхлителя происходит попеременно с рабочим ковшом экскаватора с помощью механизма быстрой замены рабочего органа, установленного на стреле гидравлического экскаватора (рис. 3).

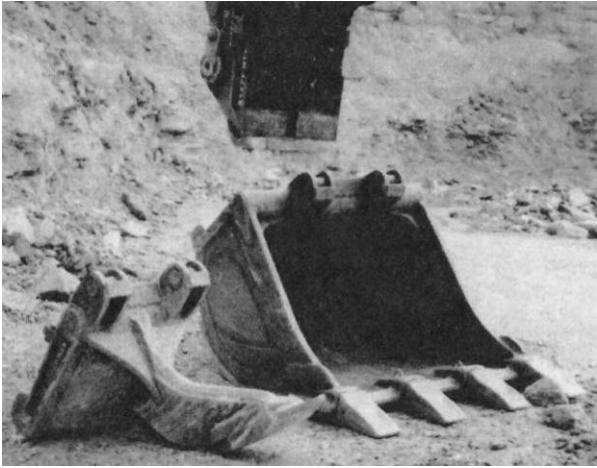


Рисунок 3 – Замена ковша экскаватора на зуб-рыхлитель [4]

Специально разработанная конструкционная схема механизма замены навесного оборудования предоставляет возможность быстрой замены ковша на зуб-рыхлитель и обратно, благодаря чему один гидравлический экскаватор может использоваться как рыхлитель горного массива, так и как выемочно-погрузочная машина.

Практика применения мощных гидравлических экскаваторов для разработки трещиноватых крепких пород без предварительного рыхления подтверждает быстрый выход из строя зубьев ковшей. Целью попеременной замены рабочего органа гидравлического экскаватора является увеличение срока использования зубьев ковша [4].

Данное навесное оборудование разработано компанией «Цепеллин» и используется при разработке трещиноватых известняков на карьерах Германии. Производительность экскаватора со сменным рабочим органом может достигать 300 т/ч по крепким трещиноватым горным породам. Следовательно, недостатком данного технологического решения является невозможность его применения при отсутствии массива горных пород с выраженной трещиноватостью. Поэтому использование данного технологического решения для отказа от проведения буровзрывных работ может применяться лишь в отдельных случаях.

Аналогично предыдущему технологическому решению попеременная замена зуба-рыхлителя на ковш позволит сократить количество процессов горных работ с шести до пяти: отбойка → погрузка → транспортировка → дробление → переработка.

*Бульдозер-рыхлитель* используется для подготовки крепких трещиноватых пород к дальнейшей выемке и погрузке. Принцип рыхления горной породы имеет аналогию с гидравлическим экскаватором оборудованным зубом-рыхлителем лишь с той разницей, что в первом случае происходит вертикальное рыхление породы, а во втором – горизонтальное.

Возможность применения бульдозеров-рыхлителей для разработки крепких пород определяется вероятной разрыхляемостью горного массива, которая непосредственно задана скоростью распространения

сейсмической волны. Сейсмическая скорость определяется по результатам натурных испытаний на породах горного массива, которые рассматриваются в качестве образца для подготовки к выемке путем рыхления [5].

Суть этих испытаний заключается в создании искусственного землетрясения, во время которого измеряется скорость распространения сейсмических волн [6]. Для различных горных массивов даже с одинаковыми видами горных пород показатели степени уплотнения, толщины пластов, наличия трещин, следов выветривания и слоистости различны. Поэтому указанные исследования и определяют возможность использования бульдозера-рыхлителя для подготовки горных пород к выемке (рис. 4).

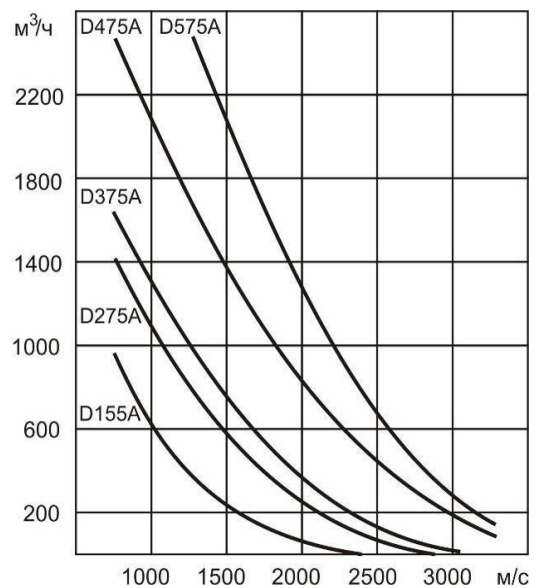


Рисунок 4 – Зависимость производительности бульдозеров-рыхлителей марки «Комацу» от скорости распространения сейсмической волны

Как видно из графиков, представленных на рис. 4, максимальная производительность бульдозеров-рыхлителей достигает 2600 м³/ч при минимальных скоростях распространения сейсмической волны по горному массиву, которые в небольшой степени зависят от крепости горных пород.

Основной по сложности операцией при разрыхлении пород является внедрение зуба-рыхлителя в горный массив, поскольку препятствование вхождения зуба-рыхлителя в породу может привести к невозможности использования этой технологической схемы без предварительного разрушения горного массива с помощью буровзрывных работ.

Горная масса, разрыхленная с помощью бульдозера-рыхлителя, в дальнейшем перемещается скрепером или бульдозером в отвал или временный склад. Вместе с сейсмической волной большое влияние на производительность выемочно-погрузочного оборудования также оказывает длина, толщина стружек, угол зубьев и направление движения горной машины.

Использование бульдозера-рыхлителя на практике позволяет сократить количество процессов горных работ с шести до четырех: рыхление → по-



грузка → транспортировка → переработка, однако значительное влияние трещиноватости горного массива на производительность горного оборудования делает применение данного безвзрывного способа разработки полезного ископаемого слишком ограниченным.

*Гидроклиновая установка* предназначена для разрушения крепких горных пород без применения буровзрывных работ при подготовке горного массива к выемке. Известны случаи ее использования для дробления гранита, лабрадорита, раскалывания негабаритов на карьерах, при проходке тоннелей, разрушение конструкций зданий без применения буровзрывных работ.

Разработка горного массива осуществляется бурением шпуров диаметром 90–195 мм, в которые помещаются распорные узлы. После установки распорных узлов гидроклина в шпур горного массива в него нагнетается рабочее давление до 1000 атм, которое легко разрушает даже самые крепкие породы [7].

Преимуществом рассматриваемого способа является исключение процесса буровзрывных работ при добыче полезного ископаемого на карьере. Это позволяет уменьшить время простоев оборудования связанных с подготовкой и проведением буровзрывных работ для выполнения необходимых мероприятий по защите людей, оборудования и близлежащих сооружений от взрыва. Разрушение горного массива происходит при заданных показателях нагрузки, что обеспечивает безопасность проведения горных работ и точность разрушения пород в уступе (рис. 5).

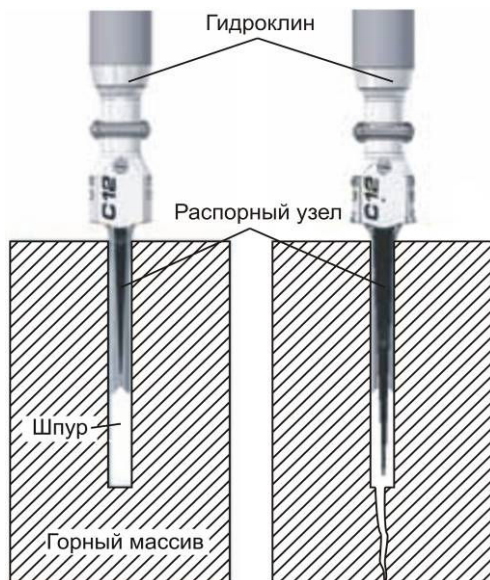


Рисунок 5 – Отбойка породы горного массива гидроклином

Использование гидроклиновой установки предполагает такое же количество процессов горных работ, как и при буровзрывных работах: бурение → отбойка → погрузка → транспортировка → дробление → переработка.

Существенным преимуществом использования гидроклиновой отбойки является отсутствие потерь

полезного ископаемого в виде нефракционной горной массы, которая образуется при буровзрывном способе разрушения породы или при применении фрезерного комбайна.

Недостатком этого способа является необходимость большого объема бурильных работ при подготовке горного массива к расклиниванию, поэтому производительность горного оборудования в первую очередь будет зависеть от количества буровых станков на карьере и крепости буримых горных пород. Также, в случае, когда товарная продукция должна иметь заданную фракционность возникает дополнительная необходимость дробления больших объемов полезного ископаемого, которое находится в блоках средних и больших размеров, что непременно отразится на себестоимости разработки месторождения.

*Фрезерные комбайны* в настоящее время широко представлены зарубежными производителями горного оборудования Wirtgen, TAKRAF и Vermeer и используются во многих странах всего мира на карьерах с различными полезными ископаемыми.

Основным преимуществом этих горных машин является возможность разработки горных пород крепостью до 90 МПа из массива без предварительной буровзрывной подготовки. Разрыхленная горная масса без дополнительного измельчения в дробилке может сразу поступать на обогатительную фабрику или потребителю, поскольку имеет заданную фракционность.

Другим значительным преимуществом фрезерных комбайнов является возможность селективной разработки тонких пластов крепких полезных ископаемых, что при производстве буровзрывных работ является крайне затруднительным по причине ограничения минимальной высоты уступа экономической целесообразностью.

Одновременно с исключением процесса измельчения горной породы дробилкой, фрезерный комбайн с погрузочной консолью берет на себя функцию выемочно-погрузочной машины, способной погружать разрыхленную горную массу с подошвы уступа в средства транспорта непосредственно во время ее фрезерования.

В отличие от ранее рассмотренных способов безвзрывной разработки крепких горных пород, производительность фрезерных комбайнов может достигать 3000 м<sup>3</sup>/ч, что возможно лишь при использовании мощных бульдозеров-рыхлителей. Однако, как уже указывалось, бульдозеры-рыхлители могут иметь подобную производительность лишь при разработке горных массивов с высокой трещиноватостью.

Увеличение крепости пород монолитного горного массива существенно сказывается на производительности фрезерного комбайна, уменьшая ее [8]. На производительность фрезерного комбайна также непосредственно влияет зернистость, разрабатываемой горной породы (рис. 6).

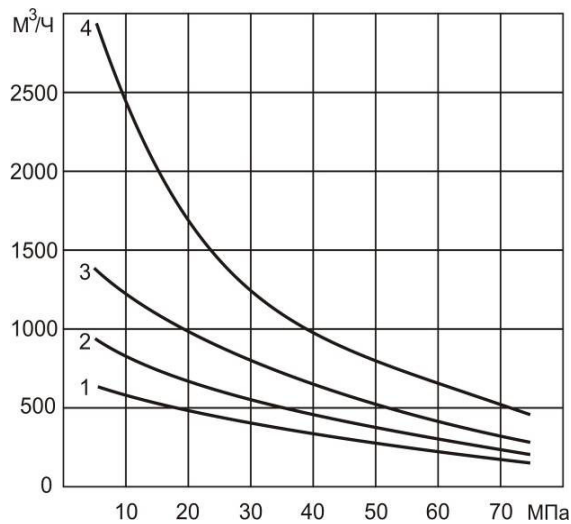


Рисунок 6 – Залежність продуктивності фрезерного комбайна Wirtgen 4200 SM від крепості горних порід: 1 – цельный массив; 2 – крупнозернистая порода; 3 – мелкозернистая порода; 4 – рыхлая порода

Как видно из графиков, представленных на рис. 6, с увеличением крепости горных пород, производительность фрезерного экскаватора существенно уменьшается. Особенно это наблюдается при разработке рыхлых и мелкозернистых горных пород.

Исследования, выполненные компанией Wirtgen, показывают, что возможность разработки более крепких горных пород фрезерным комбайном одной и той же мощности достигается за счет уменьшения диаметра фрезерного барабана комбайна и глубины фрезерования. Так, практические испытания подтвердили существенное увеличение крепости, разрабатываемого материала при уменьшении диаметра фрезерного барабана с 1860 до 1500 мм. Такая замена барабана позволила увеличить предельную крепость горных пород при разработке с 50 до 80 МПа.

Как показал анализ применения фрезерных экскаваторов при разработке крепких пород на карьерах Сербии [9], затраты на их эксплуатацию в 1,7–1,9 раз выше, чем при использовании гидравлического экскаватора вместе с буровзрывными работами. Однако эти расчеты не учитывают затраты на необходимость использования дробильной установки для измельчения полезного ископаемого до необходимой фракционности.

К недостаткам использования фрезерных комбайнов следует отнести чрезмерное переизмельчение горных пород, что приводит к потере до 30 % объема фракционной продукции. Поэтому в настоящее время актуальными являются исследовательские работы по обоснованию технологических параметров фрезерования горных пород с целью уменьшения объемов мелкой фракции.

Выполненные исследования позволяют сделать вывод, что использование фрезерных комбайнов на практике обеспечивает сокращение количества процессов горных работ с шести до трех: выемку → транспортировку → переработку. Поэтому данный

способ безвзрывного извлечения крепких горных пород из массива можно считать наиболее эффективным в том случае, когда товарная продукция из крепких горных пород должна иметь заданный granulометрический состав.

**ВЫВОДЫ.** В настоящее время, себестоимость разработки крепких горных пород механизмами безвзрывного разрушения значительно превышает себестоимость подготовки горных пород к выемке с применением буровзрывных работ. Это обуславливает небольшой спрос горных предприятий на использование подобного оборудования.

Высокие затраты на подготовку горного массива к выемке объясняются тем, что порода разрушается физическим воздействием, а, как известно, механическое разрушение горного массива более длительный и энергоемкий процесс чем буровзрывные работы.

Существующие безвзрывные способы разработки могут быть применены для разработки практически всех видов крепких горных пород, с целью сокращения негативного влияния открытых горных работ на окружающую природную среду, в случае близкого расположения карьеров с границами населенных пунктов или для сокращения количества процессов открытых горных работ при добыче и транспортировке полезного ископаемого.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Научные основы рационального природопользования при открытой разработке месторождений: моногр. / Г.Г. Пивняк, И.Л. Гуменик, К. Дребенштедт, А.И. Панасенко. – Д.: Национальный горный университет, 2011. – 568 с.
2. Hartman, H.L. SME Mining Engineering Handbook. H.L. Hartman, ed., Littleton, CO: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., 1992. – 1261 p.
3. Nam B.X., Vu P.N. Research of mining technological schemes of hydraulic breakers for limestone quarries in Vietnam. Innovation in non-blasting rock destructuring. – Freiberg, Germany, 2008. – PP. 27–35.
4. Oppermann, S. Einsatzerfahrungen in der Direktgewinnung. Innovation in non-blasting rock destructuring. – Freiberg, Germany, 2008. – PP. 208–229.
5. Технично-експлуатаційні характеристики машин фірми Caterpillar: Справочник. – CAT®, Іллінойс, США, 2000. – 1095 с.
6. Рыхлители фирмы Komatsu. – Режим доступа: <http://www.komatsu.ru/images/data/komatsu/manual/file/4335/rihliteli.pdf>.
7. Гидроклиновая установка фирмы Darda. – Режим доступа: <http://www.darda.de/en/products/splitters.html>.
8. Карьерный комбайн Wirtgen 4200 SM. Виртген ГмбХ, Германия, 2009. – 16 с.
9. Ivica J., Stepanovc S., Subaranovic T. Equipment selection for hard rock mining. Innovation in non-blasting rock destructuring. – Freiberg, Germany, 2008. – PP. 187–194.

**PROSPECTS OF APPLICATION NON-BLASTING METHODS FOR DEVELOPMENT  
HARD ROCK AT THE SURFACE MINING**

**O. Lozhnikov**

State Higher Education Institution "National Mining University"

Karl Marx av., 19, Dnepropetrovsk, 49005, Ukraine. E-mail: 19830328a@gmail.com

The article deals with choice of the modern non-blasting technology solutions for the mining hard minerals and overburden rocks. The main types of minerals that can be mined without using of blasting method are analyzed. The dependences of productivity mining equipment for non-blasting mining on the strength of rocks are determined. The results of researches show that the use of hydraulic hammers as an alternative non-blasting technologies mining hard rocks suitable for small productivity pits. Determined that the lack of excavator equipped by tooth-ripper ability only at the absence of a rock mass with severe fractures. To establish that the productivity of bulldozer ripper depends on the seismic wave rock mass and the length and thickness of the chips. Conducted researches show that disadvantage of the splitters is the large volume of drilling operations for preparation of the mountain range to the wedging. Productivity of the surface miner on the rock massive with different strength is analyzed. An international experience of using non-blasting mining equipment at the development pits with hard rocks is adduction. Carry out the comparative analysis of the existing solutions in non-blasting technology at the mining hard rock with the mining blasting technology.

**Key words:** hard rock, non-blasting mining, rocks size fraction.

REFERENCES

1. Pivnyak, G.G., Gumenik, I.L., Drebenshtedt, K., Panasenکو, A.I. (2011), *Nauchnye osnovy ratsionalnogo prirodopolsovaniya pri razrabotke otkrytykh mestorozhdenii* [Scientific bases of nature management at the open cast mining]: monograph, National Mining University, Dnepropetrovsk, Ukraine.
2. Hartman, H.L. (1992), *SME Mining Engineering Handbook*, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Littleton, USA.
3. Nam, B.X., Vu, P.N. (2008), *Research of mining technological schemes of hydraulic breakers for limestone quarries in Vietnam*. Innovation in non-blasting rock destructuring, Freiberg, Germany.
4. Oppermann, S. (2008), *Einsatzverfahren in der Direktgewinnung*. Innovation in non-blasting rock destructuring, Freiberg, Germany.
5. *Technical and operational characteristics of machinery Caterpillar Company* (2000). Handbook, CAT®, Illinois, USA.
6. *Rippers of Komatsu Company*. – Mode of access: <http://www.komatsu.ru/images/data/komatsu/manual/file/4335/rihliteli.pdf>
7. *Splitter equipment Darda Company*. – Mode of access: <http://www.darda.de/en/products/splitters.html>
8. *Wirtgen Surface Miner 4200 SM* (2009), Wirtgen GmbH, Germany.
9. Ivica, J., Stepanovc, S., Subaranovic, T. (2008) *Equipment selection for hard rock mining*. Innovation in non-blasting rock destructuring, Freiberg, Germany.

Стаття надійшла 28.02.2015.