

УДК 622.232.72

**К ОБОСНОВАНИЮ КОНСТРУКЦИИ БУРОКЛИНОВЗРЫВНОГО СТРУГА.
ЧАСТЬ I. ТЕХНОЛОГИЯ НЕПРЕРЫВНОГО РАЗРУШЕНИЯ СКАЛЬНЫХ ПОРОД
ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫМИ ВЗРЫВАМИ ГАЗОВЫХ ЗАРЯДОВ**

А.А. Коваленко

Обоснованы экологически чистые способы и средства разрушения скальных пород зарядами из стехиометрической смеси кислорода-водорода, сжатого воздуха, водяного газа (перегретого пара) с помощью генераторов газовых потоков высокой энергии. Показаны достоинства и недостатки средств беспламенного взрывания угля и горных пород в шахтах и на дневной поверхности.

Ключевые слова: скальные породы; непрерывное разрушение; газовые потоки высокого давления; беспламенное взрывание; взрывные патроны; аэрдокс; кардокс; гидрокс; взрывы зарядов из воды; буроклиновзрывной струг.

**ON THE JUSTIFICATION OF THE CONSTRUCTION DRILL-AND-BLAST PLOW.
PART I. TECHNOLOGY OF CONTINUOUS DESTRUCTION OF THE ECO-FRIENDLY ROCK
EXPLOSION OF GAS CHARGES**

A.A. Kovalenko

The article provides environmentally friendly methods and means of hard rock destruction with charges of stoichiometric mixture of oxygen, hydrogen, compressed air, water gas (superheated steam) with generators of high energy gas stream. Shown the advantages and disadvantages of funds complimentary alternating-blasting of coal and rocks in the mines and on the surface.

Keywords: rocks; continuous destruction; gas streams of high pressure; flameless blasting; explosive cartridges; airdox; cardox; hydrox; explosions charge of water drill-and-blast plane.

Технологические и технические предпосылки поточной разработки месторождений полезных ископаемых в породах средней крепости и в скальных породах в приповерхностном слое наклонной плоскости уступов, в том числе высоких уступов, изложены в [1, 2].

Одно из важных положений в выборе стратегии и тактики создания способа и устройства для непрерывного разрушения пород различной крепости с заданной производительностью и полным исключением негабаритов непосредственно в забое состоит в том, чтобы подвести к породоразрушающим агрегатам стругов необходимую и достаточную в породах средней крепости, а в крепких и очень крепких пород – максимально возможную и экономически оправданную энергию.

Другое необходимое условие – использовать способ отделения породы на отрыв, что, как известно, сокращает энергоёмкость разрушения в несколько раз по сравнению с нагрузкой на сжатие.

Например, по данным [3, с. 29], “соотношение сопротивлений горных пород одноосному сжатию ($\sigma_{сж}$), сдвигу ($\sigma_{сд}$) и растяжению ($\sigma_{р}$) составляет в среднем”:

$$\sigma_{сж} : \sigma_{сд} : \sigma_{р} = 1 : (0,25 \div 0,5) : 0,02 . \quad (1)$$

Из соотношения (1) следует, что прочность горных пород при растяжении в несколько десятков раз меньше, чем, например, при сжатии.

В.П. Плотников [4] в результате многочисленных экспериментальных исследований пришел к выводу, что “энергоёмкость отрыва угля от пласта импульсами давления воды возможна при небольшом давлении и с малой энергоёмкостью. Разрушение угля резанием, отрывом его взрывчатыми веществами, сжатым воздухом и импульсами давления воды имеет сходный характер”.

Следует также учитывать, что при разрушении стругами мягких пород и полезных ископаемых, применение энергии взрывов может оказаться излишним.

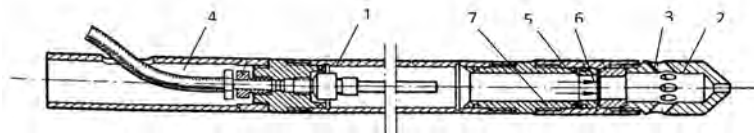


Рисунок 1 – Устройство взрывного патрона аэрдокс конструкции Д.И. Адамидзе:
1 – гильза-труба – оболочка заряда; 2 – разрядная головка; 3 – выхлопные отверстия; 4 – штуцер для подключения патрона к воздуховоду; 5 – самоуплотняющаяся втулка; 6 – нажимное кольцо, 7 – втулка

Поскольку основные требования к новым технологиям и устройствам, наряду с высокими технико-экономическими показателями разработки месторождений, состоят в максимальной экологической чистоте всех производственных процессов, исключается применение штатных или иных взрывчатых веществ (ВВ), в результате детонации которых в атмосферу карьеров выделяются вредные для окружающей среды газообразные вещества. Следовательно, созданию конструктивных схем буроклиновзрывных стругов должно предшествовать сравнительное исследование способов и средств разрушения горных пород и полезных ископаемых, например, экологически чистыми газовыми потоками, формируемыми непосредственно в забое, и направляемыми в основание отделяемого слоя породы или полезных ископаемых в приповерхностной плоскости откоса уступов с помощью таких стругов [5].

Предполагается, что на этапе создания новых схем разработки забоя газовыми потоками главная задача сводится к построению качественной картины процессов, в связи с чем, основное внимание уделено технологическим подходам к решению проблемы. Результаты такого поиска будут включены в техническое задание (ТЗ) на создание действующей модели многомашинного породоразрушающего устройства буроклиновзрывного струга.

В мировой практике в угольных шахтах, опасных по газу и пыли, с начала прошлого века применяют беспламенное взрывание, основанное на превращении потенциальной энергии жидких, твердых (патроны кардокс, гидрокс) и газообразных веществ, сжатых до высокого давления (патроны аэрдокс) [6–10].

Из средств беспламенного взрывания, полностью отвечающим экологическим требованиям

и безопасности к результатам буровзрывных работ, считаются патроны аэрдокс, наполняемые сжатым воздухом (J.S. Malesky [8] в США и Д.И. Адамидзе в СССР [9, 10]).

Принципиальная схема размещения оборудования для производства работ в шахте включает стационарную компрессорную установку на дневной поверхности производительностью 3 м³/мин, систему бронированных рукавов и стальные трубы-гильзы, в которые нагнетается воздух под высоким давлением. Трубы со срезными дисками в торцах помещают в предварительно пробуренные шпуры. В результате многочисленных экспериментальных взрывов установлено, что при давлении 700 кг/см² происходит устойчивое срезание дисков в торцах труб, выброс сжатого воздуха в шпуры и интенсивное разрушение угольного пласта.

Устройство патрона аэрдокс конструкции Д.И. Адамидзе [10, с. 13] показано на рисунке 1.

Параметры патрона аэрдокс: наружный диаметр трубы – 42–63 мм; диаметр внутренний – 33–50 мм; длина рабочей камеры – 700–2500 мм; полезный объем камеры – 0,6–3,7 дм³; общая длина патрона – 1100–2300 мм.

Попытка повысить производительность беспламенного взрывания стандартными гильзами привели к увеличению диаметра и толщины труб, выходу крупногабаритных кусков угля и применению ручного труда для разделки негабаритов. С целью устранения такого недостатка рекомендовано применять многосекционные трубы-гильзы.

Из указанных средств беспламенного взрывания наибольшее распространение получили патроны кардокс, в которых в качестве источника газовых потоков используют жидкую углекислоту [7], что позволило эффективно разрушать более крепкие угли и породы. Конструкция патрона кардокс показана на рисунке 2.

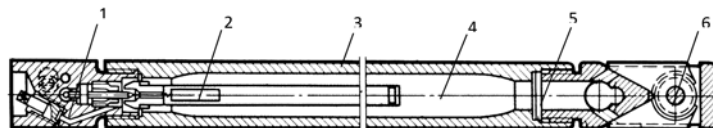


Рисунок 2 – Патрон кардокс: 1 – запальное устройство; 2 – химический нагреватель; 3 – гильза-труба; 4 – жидкая углекислота; 5 – срезной диск; 6 – выпускная головка

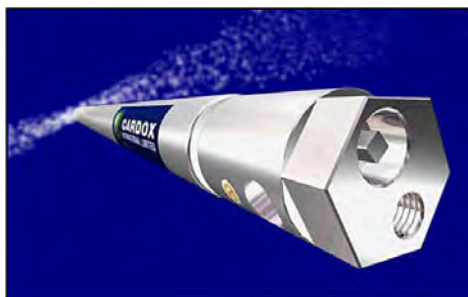


Рисунок 3 – Патрон кардокс в сборе

Параметры патрона кардокс: наружный диаметр трубы – 45–64 мм; длина – 686–1093 мм; вес – 5,5–16,8 кг; вес заряда льющейся углекислоты – 0,29–1,25 кг; давление, необходимое для разрушения срезного диска – 1260–2760 кг/см²; толщина диска – 2,4–5,2 мм; диаметр шпуров для патронов – 51–76 мм.

В разрушаемых угле и породе пробуривают одну или несколько скважин, в которые помещают трубы со взрывными патронами кардокс. Затем заряды соединяют с активатором низкого напряжения и инициируют реакцию в нагревателе, что ведет к превращению жидкой углекислоты в газ с увеличением объема в 600 раз. Мгновенный рост давления ведет к разрушению срезного диска и выходу диаметрально расположенных потоков CO₂, которые эффективно разрушают уголь или породу. Весь процесс длится менее 1 с. Результаты применения патронов кардокс позволили оценить жидкую углекислоту как источник газовых потоков высокой энергии наиболее удачным решением. В частности, такие патроны применяют не только в шахтах, опасных по газу и пыли, но и при строительстве в городских условиях. На рисунке 3 показан патрон кардокс в сборе. Один из примеров применения патронов кардокс для разрушения крепких известняков показан на рисунке 4.

Вместе с тем, более совершенной конструкции патронов кардокс присущи те же недостатки, что и другим средствам беспламенного взрывания: выброс в атмосферу шахт или на дневную поверхность карьеров вредных газообразных веществ, большой объем ручного труда, невозможность осу-



Рисунок 4 – Разрушение крепких доломитизированных известняков с коэффициентом крепости по шкале проф. М.М. Протоdjeяконова 8–10 патронами кардокс при выемке котлована для торгового центра в Болгарии

ществить автоматизированный непрерывный процесс разрушения горных пород.

В начале 20-х годов прошлого века в СССР и других странах широкое распространение получили патроны гидрокс. В частности, Н.П. Комарь [6] в 1932 г. помещал в металлическую гильзу патрон гидрокс, содержащий 145 г. пороха и 200–300 г. воды. При повышении температуры в гильзе заряд превращался в пары воды – 60–70 %, углекислый газ – 15–20 %, азот – 15–20 %, и при увеличении давления до 1900 кгс/см², образовавшиеся газы срезали диск в торце гильзы и выбрасывались у дна шпура в толщу угля, производя разрушение последнего в объеме 2,9 т – на 0,9 т больше, чем при взрыве 200-граммового заряда промышленного ВВ.

Параметры патрона гидрокс, показанного на рисунке 5: плотность инициирующего порохового заряда БВ-48 – 1,0–1,3 г/см³; масса заряда – 190 г; длина металлической гильзы патрона – 1040 мм; максимальное давление водяного газа (перегретого пара) в гильзе-патроне после полного сгорания порохового заряда – 2200 кгс/см²; длина патрона – 1320 мм; наружный диаметр – 54 мм; внутренний диаметр – 36 мм; толщина срезного диска – 2 мм; масса патрона без заряда – 13,7 кг.

Состав заряда БВ-48 массой 270 г: аммиачная селитра водоустойчивая кристаллическая; древесная мука; азотнокислый магний; персульфат аммония; хлористая медь, вода.

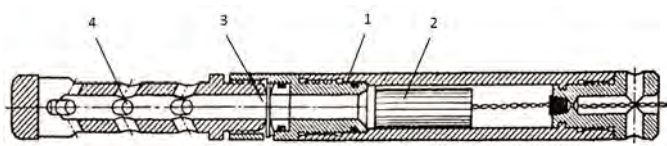


Рисунок 5 – Патрон гидрокс Н.П. Комаря: 1 – гильза-труба; 2 – заряд БВ-48; 3 – срезной диск; 4 – выходные отверстия для газового потока

Однако большое количество ручного труда, связанного с оснасткой патронов на поверхности шахты, многократной доставкой к месту работы в забое, извлечение гильз из развалов разрушенного угля и подъем на поверхность для перезарядки, значительно снижают эффективность применения таких устройств. Сравнительный анализ различных способов и устройств беспламенного разрушения угля и горных пород [6–10] показал, что ни один из указанных составов для образования газовых потоков не отвечает требованиям охраны окружающей среды.

К ограниченному числу экологически чистых газообразных веществ можно отнести стехиометрическую смесь водорода с кислородом, сжатый воздух и водяной газ (перегретый пар).

Экспериментальные работы по разрушению скальных пород газовыми потоками при взрыве зарядов из кислорода и водорода в действующем макете генератора дали положительный результат. На рисунке 6 показан выброс продуктов детонации смеси водорода и кислорода в атмосферу. На рисунке 7 – разрушение блока крепкой породы таким зарядом.

Однако известно, что газообразный водород легко воспламеняется на воздухе, а в смеси с кислородом превращается в ВВ, что делает применение таких составов опасным, несмотря на то, что с точки зрения экологии стехиометрическая смесь компонентов представляется идеальной. Предполагается, что после создания автоматизированных безлюдных карьеров ВВ из таких чистых газов, подаваемых по отдельным каналам, образуемых в шпурах, и получаемых на дневной поверхности карьеров, например, гидролизом воды, могут стать основой в технологии непрерывного разрушения крепких и очень крепких пород.

Наибольший интерес представляет разрушение горных пород газовыми потоками, формируемыми из водяного газа (перегретого пара) в виде



Рисунок 6 – Выброс газообразных продуктов детонации в атмо-сферу при взрыве в генераторе заряда из стехиометрической смеси водорода и кислорода

плоских струй, направляемых в основание отделяемого приповерхностного слоя пород в наклонной плоскости откоса уступов [5].

При проверке работоспособности макета генератора установлено, что часть заряда из воды, подаваемого в тепловую камеру, быстро прогревается и испаряется, создавая противодействие, препятствующее дальнейшей подаче заряда в камеру генератора.

Из механизма для подачи воды под давлением до 200 атм известно серийно выпускаемое устройство – мембранно-поршневой дозировочный насос Grundfos DMH 31-200 (модель 287) [11]. Объем заряда воды за один ход поршня – 6 см³, производительность – 31 л/ч, частота ходов в минуту – 98.

Таким образом, выбор энергоносителя (воды) зависит от того, насколько окажется экономичной

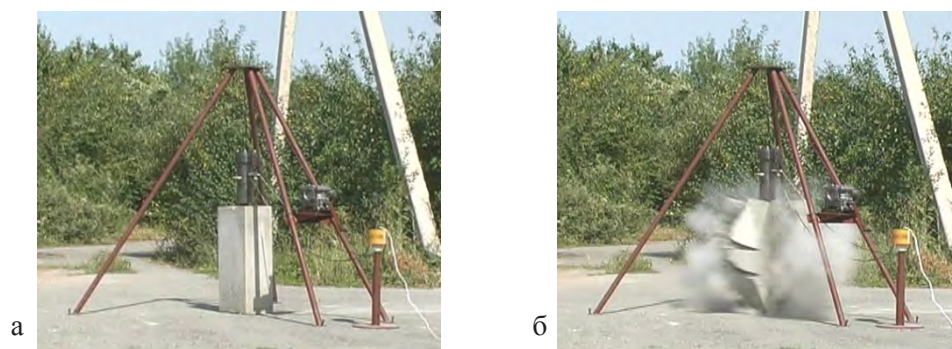


Рисунок 7 – Блок породы и генератор взрывов в исходном состоянии (а), в процессе взрыва заряда из водорода и кислорода, направленным в предварительно пробуренный шпур (б)



Рисунок 8 – Общий вид действующего макета генератора взрывов зарядов из воды

техническая реализация устройства для подготовки заряда “рабочего” газа – нагревательной камеры или компрессора высокого давления.

Действующий макет генератора газовых потоков из перегретого пара показан на рисунке 8.

Объем внутренней полости генератора составляет 750 см^3 , число нагревателей – 6; суммарная мощность – 7,5 кВт, объем заряда из воды – 35 см^3 , температура в полости генератора – $200\text{--}220^\circ\text{C}$, время преобразования заряда – 30 с, диаметр отверстия расходного клапана для выброса взрывного газа – 20 мм. В торце канала на выходе из сопла генератора помещались металлические пластины толщиной от 0,05 до 0,2 мм.

С помощью макета генератора проведены успешные опыты по разрушению породы взрывами зарядов из воды. Один из таких опытов показан на рисунке 9.

В результате экспериментальных исследований разработан и изготовлен усовершенствованный макет генератора взрывов зарядов из воды (рисунок 10). В частности, решена проблема надежной работы расходного клапана тепловой камеры.

Новое устройство включает: корпус генератора 1; шток расходного клапана 2; механизм управ-

ления штоком расходного клапана: цилиндр и поршень 3, реле втягивающее 4, рычаг 5; седло штока 6; нагреватель патронный 7; полость 8 для водяного газа в корпусе генератора.

Принцип работы генератора состоит в том, что в тепловую камеру, нагретую до температуры быстрого испарения, с интервалом 10–15 с подают заряды распыленной воды. После создания необходимого давления водяного газа расходный клапан камеры открывают со скоростью до 0,01 с. Полость нагревательной камеры соединена со шпуром каналом от расходного клапана до забоя (дна) шпура. Воздух за клапаном находится под атмосферным давлением. После открытия клапана поток газа производит гидравлический удар на забой шпура, осуществляет предварительное разрушение целика вокруг буровой коронки и штанги, затем фугасным действием расширяющегося газа осуществляет отрыв породы в направлении свободной поверхности откоса уступа. Дополнительный положительный эффект оказывает также взаимодействие нагрузок на массив породы в смежных шпурах.

Количество энергии, которую необходимо передать породе различной крепости, определяется начальными параметрами (объемом, температурой, давлением) и дополнительной энергией, полученной в полости генератора в результате нагрева до различной температуры.

На рисунке 11 показано исходное состояние разрушаемого блока породы до взрыва, процесс взрыва и результат взрыва.

За время бурения шпуров без остановки, то есть углубления буровых штанг на всю глубину (без извлечения из шпуров), в камеру генератора подают новую порцию воды, которой от нагревателей-испарителей сообщают дополнительную энергию и ко времени полного углубления буровых штанг в автоматическом режиме осуществляют подачу следующего газового потока с запасенной



Рисунок 9 – Общий вид макета генератора взрывов зарядов из воды и разрушаемого блока породы: а – до взрыва, б – в процессе взрыва, в – после взрыва

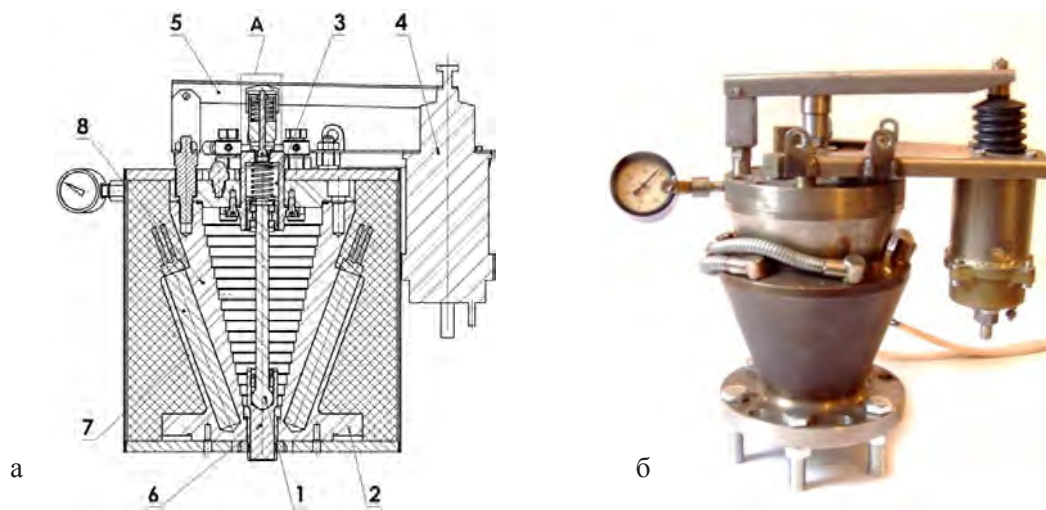


Рисунок 10 – Усовершенствованный образец генератора газовых потоков из сжатого воздуха или водяного газа (перегретого пара): а – конструктивная схема, б – действующая усовершенствованная модель генератора

энергией, достаточной для разрушения породы в новом забое.

Газ под высоким давлением из генератора подается в полость клина, сопряженного с буровой штангой (рисунок 12), который воздействует на породу в забое потоками из трех щелей: двух боковых и вертикальной средней. Поток газа из средней щели направлен к свободной поверхности разрушаемого слоя, из двух боковых – в плоскость отделения слоя породы от массива [12].

Генератор взрывов входит в систему струга, расходный канал которого соединен со свободной полостью в клине, сочлененным с буровой штангой и щелями в боковых и вертикальной гранях. Поток газа подается по мере углубления штанги и клина примерно 3–5 раз за 1 м перемещения струга по откосу.

Определение численных значений параметров породоразрушающего агрегата струга: диаметр и глубина шпуров, расстояние между буровыми штангами и число клиньев, а также емкость внутренней полости генератора, мощность патронных нагревателей, давление и температура газа в генераторе – задачи предстоящих исследований. Основа для проведения таких исследований подготовлена конструкторскими разработками и экспериментальными взрывами, выполненными с помощью действующих макетов генератора газовых потоков из сжатого воздуха и водяного газа.

Информационно-патентное исследование известных способов и средств беспламенного взрывания угля, преимущественно в шахтах и относительно крепких пород на дневной поверхности патронами аэрдокс, гидрокс, кардокс показали, что циклические технологии и средства взрывания



Рисунок 11 – Состояние разрушаемого блока породы: а – до взрыва, б, в – процесс взрыва, г – результат взрыва

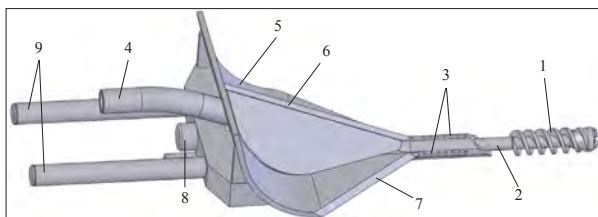


Рисунок 12 – Конструктивная схема исполнительного элемента породоразрушающего устройства буроклиновзрывного струга:

- 1 – буровая штанга с коронкой; 2 – направляющая труба с буровой штангой; 3 – выхлопные отверстия для выхода взрывного газа в шпур;
4 – канал в клине для подачи газового потока к основанию слоя породы; 5 – клин;
6 – верхняя режущая грань клина; 7 – боковая грань клина; 8 – наковальня для передачи ударной нагрузки на буровую штангу и клин; 9 – направляющие клина

обладают неустраняемыми недостатками и не могут быть приняты за основу при создании непрерывных способов и средств поточной разработки месторождений полезных ископаемых в породах различной крепости.

Недостатки технологии беспламенного взрыва: большой объем ручного труда, связанный с подготовкой патронов к работе, наполняемых сжатым воздухом, льющейся углекислотой и преобразователями твердых веществ при сгорании в гильзе под большим давлением, установкой срезных дисков, ручной погрузкой в средства транспорта и доставкой к забоям, предварительным бурением шпуров и размещением патронов в шпурах, коммутированием взрывной сети. По достижении заданного давления воздуха запирающие диски разрушаются, поэтому при подготовке следующих взрывов в торцах гильз необходимо устанавливать новые срезные диски.

Самые большие недостатки технологии и устройств систем беспламенного взрыва – цикличность выполнения всех производственных операций и непригодность к модернизации с целью придания процессам и операциям характера непрерывности. Кроме того, в результате взрывов таких патронов в атмосферу (помимо аэрдокса) выделяются газообразные вещества, вредные для окружающей среды.

Особое место в этом ряду занимает стехиометрическая смесь кислорода – водорода и водяного газа (перегретого пара) как абсолютно чистых компонентов, дружественных окружающей среде. Именно с этими веществами должна и будет строиться разработка технологии непрерывного разру-

шения крепких и скальных пород и устройств, например, буроклиновзрывных стругов, способных в автоматическом режиме отделять приповерхностный слой пород и полезных ископаемых в непрерывном режиме без негабаритов, с перегрузкой потока разрушенной породы на ленточные конвейеры у основания уступов, в том числе высоких уступов.

На рисунке 12 показана конструктивная схема исполнительного элемента породоразрушающего устройства буроклиновзрывного струга, с помощью которого удастся решить поставленную задачу, например, в соответствии с рекомендациями, изложенными в патентах [1, 2].

Задача правильного выбора параметров породоразрушающего инструмента и газового потока сводятся к производительному разрушению приповерхностного слоя породы с целью создания новой поверхности откоса уступа, по которой струг мог бы беспрепятственно перемещаться в процессе работы.

Предлагаемая технология непрерывного разрушения крепких и скальных пород может быть эффективно осуществлена при условии, что приповерхностный слой откоса уступа будет разрушаться полосами в направлении сверху вниз с помощью многомашинного породоразрушающего устройства – буроклиновзрывного струга таким образом, что разрушенная порода переместится под действием собственного веса к основанию откоса уступа, и с помощью перегружателя будет размещена на передвижном забойном ленточном конвейере.

Литература

1. Коваленко А.А. Технологические и технические основы высокорентабельной экологически чистой разработки золота, алмазов, урана в глубоких карьерах / А.А. Коваленко // Вестник КPCУ. 2007. Том 7. № 4. С. 130–131.
2. Нифадьев В.И. Непрерывное разрушение скальных пород – альтернатива массовым взрывам на карьерах / В.И. Нифадьев, А.А. Коваленко // Горный журнал Казахстана. 2013. № 4. С. 12–13.
3. Маттис А.Р. и др. Безвзрывные технологии открытой добычи твердых полезных ископаемых / А.Р. Маттис и др.; отв. ред. В.Н. Опарин; РАН, Сиб. отд., ин-т горного дела, ин-т горного дела Севера; Урал. отд., ин-т горного дела. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. С. 29.
4. Плотников В.П. Сравнение способов и средств разрушения угля отрывом / В.П. Плотников // Горный инф.-аналит. бюлл. (научно-техн. журн.). 2007. Вып. 6.

5. 013438 ЕАПВ. Способ открытой разработки месторождений полезных ископаемых и призабойный комплекс устройств для его осуществления // А.А. Коваленко, В.И. Нифадьев. Оpubл. 30.04.2010.
6. *Комарь Н.П.* Патрон Гидрокс / Н.П. Комарь // Авт. свид. РФ на изобретение №50230. Оpubл. 31 авг. 1936 г. Класс 78e, 3.
7. *Singh R.D.* Principles and Practices of Modern Coal Mining / R.D. Singh // New Age International, 2005. P. 549.
8. *Malesky J.S.* Breaking coal with airdox / J.S. Malesky. January 1, 1948. University of Michigan Library.
9. *Миндели Э.О.* Отбойка угля патронами гидрокс в шахтах / Э.О. Миндели, Н.Ф. Кусов, Д.И. Адамидзе. М.: Недра, 1978. 134 с.
10. *Адамидзе Д.И.* Разрушение углей и пород сжатым воздухом / Д.И. Адамидзе. М.: Наука, 1978. 96 с.
11. Дозировочные насосы и принадлежности. Проспект компании Danfoss, с. 3. <http://www.danfoss.com/russia/>.
12. Пат. КР 1677. Устройство для разрушения горных пород // А.А. Коваленко, В.И. Нифадьев. Оpubл. 30.09.2014.