



УДК 622.235

© *Е. Б. Шевкун, А. В. Лещинский, 2005*

КОНЦЕПЦИЯ АККУРАТНОГО ВЗРЫВНОГО РЫХЛЕНИЯ СКАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Шевкун Е. Б. – д-р техн. наук, проф. кафедры «Строительные и дорожные машины», заслуженный изобретатель Российской Федерации; *Лещинский А. В.* – канд. техн. наук, доц. кафедры «Строительные и дорожные машины» (ТОГУ)

Предложена технология безразлетного взрывного рыхления скальных горных пород в строительстве и горном деле. В основу положена концепция взрывания под укрытием, осуществляемым с помощью мобильных агрегатов или переносных конструкций в виде газопроницаемых матов.

The method of thorough explosive loosening of rocky rocks has been proposed in construction and mining industry. The concept is based on sheltering explosion by means of mobile aggregates or mobile structures in the form of gas-penetrating mats.

Ближайшие десятилетия как в России, так и в мире в целом будут характеризоваться ростом горного дела в части добычи твердых полезных ископаемых. Это связано с тем, что минеральные продукты, добываемые из земной коры, – это основа экономики и национальной безопасности современных цивилизаций. Общий объем добычи минерального сырья в России по данным [1] оценивается в 101 млрд дол., а ведущей горнодобывающей страны мира США – в 140 млрд дол. Объем добычи в других странах существенно меньше. Через 20–30 лет мы в России будем разрушать несколько десятков миллиардов кубометров скальных горных пород, поскольку настоящих горнодобывающих государств в мире не так уж много, а в будущем будет еще меньше – порядка 10–12. Среди них США, Россия, Канада, Австралия, Южная Африка и несколько других. Российская территория, богатая полезными ресурсами, будет превращаться в мировой полигон горного дела, а Восточная Сибирь и Дальний Восток в XXI в. будут основной горной провинцией мира [1].



Проблема обеспечения эффективного рыхления горных пород имеет место при разработке практически всех месторождений твердых полезных ископаемых. Как объект горных разработок горные породы по физико-техническим свойствам подразделяют на скальные, полускальные, плотные, мягкие, сыпучие и разрушенные.

Анализ практики показывает, что рыхлые и уплотненные осадочные горные породы успешно разрушаются непосредственно в процессе выемки (предварительного рыхления не требуется). Однако уже плотные (вплоть до полускальных) горные породы требуют предварительного механического рыхления различными средствами. Скальные же горные породы и некоторые типы полускальных требуют, как правило, рыхления взрыванием, хотя в настоящее время и создан типовой ряд комбайнов для безвзрывной их выемки: шнеково-фрезерные, с роторными колесами, стреловые фрезерные комбайны и фронтальные роторные агрегаты. Следует отметить, что по мере совершенствования горной техники условная граница между горными породами по прочности, разделяющая их по возможности применения механического или взрывного рыхления, постоянно смещается в сторону большей крепости и в настоящее время находится на уровне $f = 10-12$ (по М. М. Протодьяконову). Однако, как показали исследования И. А. Тангаева [2], большая часть горных пород на карьерах имеет более высокую крепость, поэтому подготовка скальных горных пород к выемке и в ближайшей перспективе будет вестись преимущественно с помощью энергии взрыва.

Стоимость механического рыхления существенно зависит от прочности породы, резко возрастая с ее повышением, а стоимость взрывного рыхления увеличивается медленно – растут в основном затраты на бурение, а параметры скважинных зарядов изменяются мало.

Взрывное рыхление горных пород обеспечивает дробление необходимых объемов горной массы с заданным качеством и параметрами развала. Однако традиционным методам взрывного рыхления вертикальными (реже наклонными) скважинными зарядами присущи серьезные недостатки, к важнейшим из которых следует отнести: опасность поражения людей, сооружений и техники разлетающимися на значительные расстояния (до 700 м) кусками взорванной породы; воздействие на здания и сооружения сейсмических колебаний распространяющихся по горной породе, и ударной воздушной волны, распространяющейся по воздуху, приводящих к повреждению остекления, раскачке с последующим возникновением трещин в несущих конструкциях; негативное воздействие на окружающую среду в виде пылегазовых выбросов в атмосферу и загрязнения растворенными компонентами ВВ гидросферы, включая подземные горизонты. Взрывные



работы в карьерах вызывают весьма высокое загрязнение карьерной территории и окружающей среды пылегазовыми выбросами, создают ощутимые отрицательные эффекты в связи с осаждением пыли в жилых районах и на сельскохозяйственных угодьях. Установлено, что площади зон загрязнения приземной атмосферы с концентрацией пыли, превышающей ПДК, составляют $(10,9-26,5)10^6 \text{ м}^2$, размеры зон с концентрацией пыли в 5–10 ПДК достигают 3–7 км [3].

Образно говоря, каждый массовый взрыв можно сравнить с боевыми действиями по отражению вражеского нашествия. Для проведения взрыва карьер останавливают на несколько часов для подготовительных работ: технику отводят из забоев на безопасное по разлету кусков расстояние, демонтируют ЛЭП, выводят весь работающий персонал за пределы опасной зоны, которую обозначают на местности постами оцепления, ремонтные службы заготавливают материалы для восстановительных работ в случае повреждения кусками породы (провода ЛЭП и контактной подвески железнодорожного транспорта, ригели и опоры контактной сети и пр.) и сосредотачивают их вблизи зон работ. Затем подают сигналы взрывных работ (предупредительный и боевой) сиреной. После взрыва проводят восстановительные работы по возврату техники в забой, восстановлению ЛЭП и т. п. Иногда простой карьера длится смену, а в случае повреждения техники и сооружений кусками породы – и более. И каждый раз, когда под вой сирены видишь покинутый людьми карьер с обреченно скученной техникой, невольно возникает щемящее чувство протеста – почему так безысходно следует отдавать дань этому Молоху, хотя он и работает на нас. Неужели нельзя вести взрывные работы аккуратнее?!

Оказывается можно. Первыми к мысли *аккуратного* (читай *безразлетного*) взрывного рыхления пришли строители, которых сама жизнь заставила задуматься об этой проблеме. Ведь их стройплощадки всегда временные, они все время смещаются в пространстве (в отличие от горняков, ведущих взрывные работы в пределах одного и того же карьера десятки лет). При строительстве автомобильных и железных дорог такое смещение достигает десятков километров в год, при строительстве объектов работы также кратковременны: на взрывание скальных пород под котлован здания или сооружения уходят месяцы. А главное – при разработке карьеров строительного камня и дорожных выемок, расположенных вблизи дорог с интенсивным движением транспорта, ЛЭП, населенных пунктов, водоохраных зон рек и т. д., всегда возникают большие сложности с выдерживанием требований безопасности взрывных работ по сейсмическому воздействию, разлету осколков и ударной воздушной волне.



Так, при строительстве автомобильной дороги «Ильинка – Красная речка» в Хабаровске в 1989 г. в связи с близким расположением жилых домов при разработке выемок проектом предусматривалось укрытие взрывааемых площадей цитами из бревен и мешками с песком. Стоимость дополнительных строительно-монтажных работ по укрытию составила 17,21 тыс. р. в ценах 1984 г. В современных ценах это составляет около 300 тыс. р.

В 1991 г. при разработке проектной документации для строительства мостового перехода через реку Никита на автомобильной дороге «Биробиджан – Облучье» была отведена площадка для каменного карьера. Во время подготовки карьера к взрыву в 1993 г. выяснилось, что карьер находится в запретной зоне. Работы приостановили, и была проведена разведка другого карьера скальных горных пород. Дальность транспортировки 19,2 тыс. м³ камня увеличилась с 4 до 10 км. Удорожание стоимости строительно-монтажных работ составило 12,02 тыс. р. в ценах 1984 г. Во многих других случаях экономический эффект определить трудно, т. к. варианты трассы дорог или места расположения карьеров камня, которые могли бы быть принятыми, отклоняются еще на стадии согласования актов выбора площадок и сразу принимаются более дорогостоящие варианты.

Еще большие сложности у строителей возникают с взрывными работами при строительстве железных дорог в условиях развития (вторые пути, двухпутные вставки и др.). Они отличаются специфическими особенностями: работы проводятся в специально выделяемые «окна» – короткий промежуток времени между движением поездов, для чего разрабатывается специальный проект с учетом конкретных условий. В проекте, в соответствии с требованиями специальной Инструкции [4], должны быть предусмотрены работы и мероприятия по обеспечению безопасности и бесперебойности движения поездов и сохранности пути и сооружений в период строительства второго пути.

При взрывных работах в непосредственной близости от ЛЭП, линий связи и устройств СЦБ, когда целостность и непрерывность работы этих линий и устройств не могут быть обеспечены, Инструкцией предусматривается временная или постоянная переноска ЛЭП, линий связи и устройств автоблокировки за пределы опасной зоны взрыва или каблирование указанных линий с заложением их на глубину не менее 1 м. При этом перенос ЛЭП и линий связи следует проектировать с удалением от места взрыва на 200 м. При меньшем удалении необходимо предусматривать защиту ЛЭП и линий связи от разлетающихся осколков и сейсмического действия. Защиту опор контактной сети и опор линий связи рекомендуется предусматривать из шпал с накладкой их с двух сторон опоры на высоту в две шпалы с закреплением



провоолокой. С полевой стороны следует устанавливать при этом укосину из шпалы с упором в среднюю часть нижней накладки (шпалы). Пролетные строения путепроводов, пересекающих железнодорожный путь в зоне взрывных работ, рекомендуется прикрывать подвесными деревянными щитами, покрытыми снаружи панцирной сеткой.

При определении объема случайных повреждений следует считать, что все незащищенные элементы железной дороги, находящиеся в радиусе 200 м и ближе от места взрыва, могут быть повреждены прямым попаданием кусков разлетающейся породы. На электрифицированных участках одновременно с закрытием перегона должно быть снято напряжение в контактной сети и в других линиях электропередач, попадающих в опасную зону. Напряжение не снимается при укрытии места взрыва и иных подобных мерах, обеспечивающих безусловную целостность всех элементов контактной или другой электросети.

В свете требований Инструкции взрывные работы при ремонте существующих железнодорожных линий, строительстве вторых путей в условиях движения железнодорожного транспорта существенно усложняются. Уборка взорванной породы в таких условиях производится, как правило, экскаватором и бульдозерами методом выталкивания. В зависимости от расстояния и времени выталкивания (при 4- или 6- часовом «окне») объем взорванной горной массы за один взрыв составляет от 1 до 1,5 тыс. м³ в плотном теле. Из выделенного времени «окна» продолжительностью 4 или 6 ч основная его часть приходится на выталкивание завала взорванной массы с железнодорожного пути в экскаваторный забой, составляя соответственно 3 и 5 ч [5]. Одновременно с уборкой породы в течение двух часов бригады монтажников контактной сети, электриков и связистов, участвующих в технологическом процессе, устраняют возможные повреждения контактной сети, линии связи и автоблокировки, отключенные с момента начала «окна».

Для защиты опор контактной сети от повреждения кусками взорванной породы до начала разработки выемки осуществляют перенос опор на противоположную от разрабатываемой выемки сторону. Перед взрывами опоры контактной сети обвязывают непригодными для эксплуатации шпалами на две их высоты. Защита верхнего строения пути от повреждения взрывом осуществляется настилом шпал типа постоянного переезда. Все это предусматривают в проектах, но, как правило, железнодорожники неохотно идут на выделение продолжительных «окон» в 4–6 ч, ограничивая их 3 ч. Радиус опасной зоны принимают, как правило, в 400–600 м, выставляя сигнальщиков на 50–100 м дальше зоны.

Поэтому при производстве взрывных работ в дорожном строительстве следует принимать такие методы ведения взрывных работ, при



которых хорошее качество рыхления достигается при наименьшем отрицательном воздействии на коммуникации, строения, ЛЭП, охранные зоны природопользования и пр. Иными словами, работы по взрывному рыхлению следует вести *аккуратно*.

Наиболее распространенным способом снижения разлета кусков горной породы при взрывном дроблении является установка над горизонтальной взрываемой поверхностью специальных укрытий различных конструкций [6].

Чаще всего применяют сплошные укрытия металлическими листами или бревенчатыми матами. Для предотвращения разлета кусков породы требуется большая масса укрытия – до 0,8–1,0 т на 1 м² укрываемой площади, т. к. укрытие в первую очередь принимает на себя удар газов взрыва, а удар летящих кусков породы играет второстепенную роль [7]. При оборачиваемости металлических листов 50–55 раз, бревенчатых матов 15–20 раз расход материалов достигает больших масштабов, а стоимость материалов укрытий в 1,5–3,0 раза превышает стоимость ВМ, необходимых для разрыхления породы. Большие габариты сплошных металлических или деревянных укрытий (2 x 4–5 м) требуют дорогостоящих специальных транспортных средств, что также в значительной мере усложняет работы по возведению укрытий.

Вместе с тем сплошные укрытия не создают полной гарантии от разлета кусков – в отдельных случаях наблюдаются местные выбросы кусков породы, разлетающихся в каких-то случайных направлениях из-под приподнятого ударом газов сплошного укрытия, или отбрасывание отдельных листов укрытий на расстояние до 20 м. Нет никакого, хотя бы приблизительного, расчета массы и конструкций укрытий, обеспечивающих полное предотвращение разлета кусков породы.

Сложность организации БВР с применением сплошных укрытий, особенно на наклонных поверхностях откосов уступов, а также высокая их стоимость определяют необходимость поиска других путей защиты от разлета кусков. Поэтому нами предложен иной путь – перейти к *аккуратному* взрывному рыхлению, для чего укрывать на взрываеваемых объектах все плоскости, с которых возможен разлет кусков взорванной горной массы (поверхность уступа, его торец и откос), самоходными установками, матами из отходов якорных цепей или изношенных автомобильных шин, неубранной горной массой. Такой подход позволяет вести взрывные работы не только при подготовке к выемке котлованов и проходке траншей, но и при строительстве и разномске бортов дорожных выемок в стесненных условиях карьеров на уступах, когда имеются существенные ограничения по сейсмическому воздействию, пылегазовым выбросам, разлету кусков горной массы.



В основу технологии взрывания под укрытием с использованием самоходных установок положен новый способ разрушения крепких горных пород – последовательное порядное взрывание горизонтальных (вместо вертикальных и наклонных) скважинных зарядов с разрушением массива горных пород слоями сверху вниз.

Самоходная установка (рисунок) оборудуется устройством для поглощения пылегазовых выбросов, что исключит загрязнение не только карьера, но и прилегающих к нему территорий оседающей пылью. Она имеет вертикальную и горизонтальную рамы с демпфирующими элементами, позволяющими поглощать энергию взрыва существенно меньшей массой, чем при обычных жестких укрытиях. Полигонные исследования показали, что демпфирующие элементы мобильного укрытия, поглощающие основную часть энергии взрыва скважин первого слоя в процессе деформации под действием взрыва, могут быть выполнены в виде мягких емкостей с жидкостью или газом, матов из якорных цепей, изношенных автомобильных шин или их различных комбинаций. Причем массу горизонтальной рамы можно существенно изменять уже после установки ее на укрываемый объект добавлением в полости элементов жидкости, сыпучих материалов и т. п.

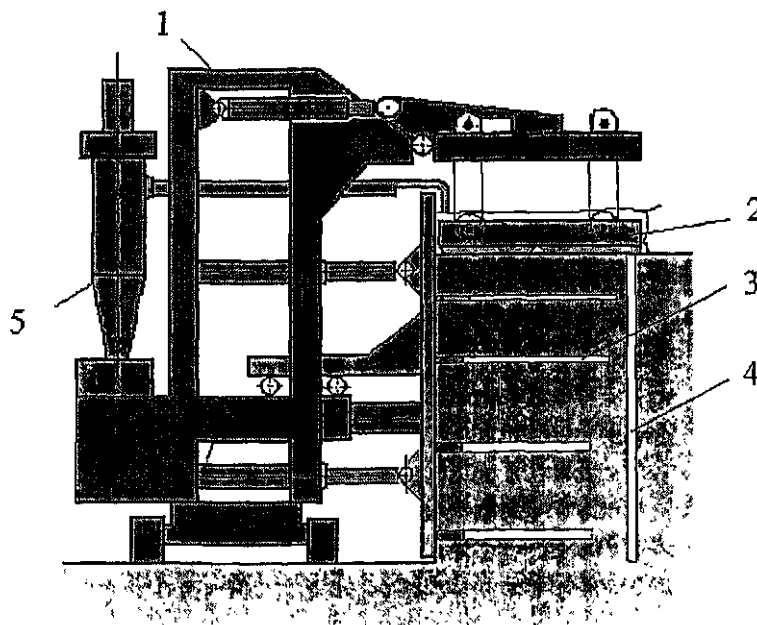


Схема устройства для укрытия объема горных пород, взрываемого горизонтальными скважинными зарядами:
1 – мобильная установка; 2 – демпфирующий щит; 3 – взрывные скважины;
4 – контурная щель; 5 – пылегазоуловитель



Численные исследования процессов взаимодействия взорванной горной массы и демпфирующих элементов укрытия показали, что демпфирующими элементами может быть поглощено до 90 % энергии взрывного импульса, воздействующей на укрытие при взрывании верхнего, самого тонкого, слоя горных пород. При массе каждого заряда верхнего слоя в 7–15 кг демпфирующим щитом с массой горизонтальной рамы в 16–35 т исключается разлет горной массы верхнего взрываемого слоя объемом 150–300 м³.

При взрывании нижележащих слоев ранее взорванный верхний слой является пригрузкой, исключая разброс их горной массы, поскольку даже при плотности горных пород в 2 т/м³ его масса составит 300–600 т. Раздробленный слой горных пород в 8–9 раз снижает энергию проходящего через него взрывного импульса, поэтому горизонтальная рама укрытия работает в качестве демпфера только при взрывании верхнего слоя пород, что позволяет уменьшить ее массу и высоту подброса до приемлемых величин.

Расположенный под мобильным укрытием блок горной породы перед взрыванием отделяется от остального массива методом предварительного щелеобразования. Контурное взрывание позволяет значительно сократить объемы работ при проходке выемок в скальных породах методом скважинных зарядов и главное повысить устойчивость откосов выемок, что весьма важно при длительной их эксплуатации. Как показывает фактическое положение, например, на законченном строительстве участка БАМ (БАМ – Тында) после двух лет откосы выемок значительно разрушаются: образуются трещины, выкалываются отдельные куски породы, что создает серьезную проблему [8]. При высоте откосов отдельных выемок до 100 м и объеме выемок до 800 тыс. м³ их разработка требует проведения 50–70 взрывов, многократное воздействие взрывных волн на откос существенно нарушает его устойчивость и требует специальных мероприятий по оборке откосов для поддержания их в безопасном состоянии. Поэтому угол наклона контурных скважин задается исходя из условий обеспечения длительной устойчивости откоса выемки. Аналогичная ситуация складывается и на карьерах. Так, на Оленегорском горно-обогатительном комбинате в 80-е гг. прошлого века после постановки нерабочего борта в предельное положение произошло сползание значительного объема пород по системе раскрытых взрывами трещин.

Предлагаемая технология предусматривает использование самоходных буровых и зарядных агрегатов, широко применяемых в настоящее время как на подземных работах при проходке горизонтальных выработок, так и на карьерах. Возможна разработка самоходного агрегата, объединяющего все операции по бурению, зарядке и укры-



тию взрываемого участка массива. Сохранение на месте взрыва компактного развала пород позволит, кроме прочих преимуществ, получить еще одно – возможность отдельной выемки ценных полезных ископаемых и пустых пород за счет сохранения ранее установленных границ между ними после взрыва. Скважины малого диаметра автоматически уменьшают крупность взорванной горной массы, поскольку диаметр среднего куска горной массы практически прямо пропорционален диаметру скважинного заряда. А мелко раздробленная горная масса позволит применить конвейерный транспорт для ее доставки прямо из забоя и перейти на поточные технологии выемки и транспорта. Взрывание под мобильным укрытием небольших объемов позволит вести взрывные работы без остановки карьера, с минимальным сейсмическим воздействием, с улавливанием пыли и ядовитых газов взрыва. Горизонтальное расположение зарядов исключает наличие воды в скважинах от атмосферных осадков, а приток из массива предотвращает контурная щель, следовательно, исчезает загрязнение гидросферы растворенными компонентами ВВ. И появляется, действительно, *аккуратная* технология взрывного рыхления. Взрывные работы будут вестись в поточном ежесменном режиме, как все другие технологические процессы, не мешая работе всего карьера, и мы перестанем к ним готовиться как к нашествию врага.

При разработке крепких горных пород с применением буровзрывных работ в стесненных условиях, когда необходимо уменьшить разброс взрываемой горной массы под откос высоких уступов, например, при расконсервации временно нерабочих бортов глубоких карьеров со сдвоенными и строенными уступами возникают серьезные проблемы технологического обеспечения безопасных условий как взрывного рыхления, так и выемки взорванной горной массы. Так, на глубоких карьерах Якутии, разрабатывающих алмазные трубки, значительно усложняется организация непрерывной грузотранспортной связи добычных уступов с поверхностью при одновременном ведении горных работ в промежуточном и реконструируемом контурах, что обусловлено заваливанием спиральных съездов и берм взорванной горной массой при массовых взрывах в зоне разноса борта. Объемы сваливаемых в промежуточный контур вскрышных пород составляют $8,3 \text{ м}^3$ с 1 м^2 обнаженной поверхности борта и достигают 8 % от общего объема работ по реконструкции. В связи с этим нарушается ритмичность работы карьеров по добыче руды, увеличиваются простои по организационным причинам [8]. Необходимо изыскивать такие способы разноса бортов, чтобы взрываема горная масса оставалась на месте взрыва, а разлет породы с откоса уступа в сторону выработанного пространства был минимален как при взрывном рыхлении, так и при выемке горных



пород. Способ взрывания в зажатой среде на подпорную стенку из неубранной горной массы вдоль фронта уступа, исключаящий разлет кусков с его откоса, в таких случаях бывает неприемлемым, поскольку при сдваивании уступов оставляют только предохранительную берму.

Поэтому нами предлагается технология *аккуратного* взрывания высоких уступов на карьерах и в дорожных выемках под укрытием с применением отдельных газопроницаемых матов. При подготовке таких уступов к взрывному рыхлению вначале принимают меры по улавливанию скатывающихся кусков горной массы, попадающих на предохранительную берму как при взрывном рыхлении, так и при выемке горной массы. Для этого на предохранительных бермах устанавливают ограждения различного типа – это может быть стенка из железобетонных плит или габионов, породный вал и т. п. Затем уступ разделяют на слои мощностью 5–6 м, обуривают взрывными скважинами и производят их зарядку. При этом крайние от бокового откоса взрывные скважины заряжают уменьшенным зарядом выпирающего действия, при котором энергия взрыва окажется достаточной для смещения породы в сторону свободной поверхности, причем это смещение охватит всю толщу породы между зарядом и поверхностью и будет сопровождаться ее дроблением с выпучиванием без разброса [9].

Разделение уступа на части по высоте преследует две цели – снизить массу укрытия на боковом откосе уступа, упростить его монтаж и уменьшить сброс камней под откос при экскавации невысокого развала. После зарядки взрывных скважин участок уступа готовят к взрыву. Для этого на всех открытых поверхностях взрываемого участка слоя – верхней, торцевой частях и боковом откосе – размещают газопроницаемое укрытие из газопроницаемых матов, выполненных из тяжелых якорных цепей или изношенных автомобильных шин, укладывая их с помощью крана так, чтобы края матов выходили на 1,5–2 м за пределы взрываемого участка. При размерах взрываемого блока, например, 5 м по высоте и 20 м по длине уступа размер мата составит 7 x 24 м, масса 22–30 т при удельной массе газопроницаемых укрытий в 130–180 кг/м². Такое укрытие можно разместить на откосе уступа автомобильным краном. Укрытие на поверхности уступа можно собирать из отдельных небольших матов размером 2 x 4 или 4 x 6 м. На горизонтальной поверхности такие работы не вызывают затруднений.

При поочередном взрыве зарядов рыхления основная доля энергии взрыва расходуется на дробление горных пород и смещение газопроницаемых матов. Эластичность газопроницаемых матов при вспучивании породы от взрыва не позволяет отрываться отдельным кускам от



общей массы, разрыхленная горная масса плотно обхватывается матом и удерживается им в компактном состоянии. После взрыва отдельные куски горной массы из-под мата на боковом откосе скатываются по откосу уступа на предохранительную берму, где улавливаются ограждением. Этот же процесс происходит при снятии матов перед выемкой горной массы и в процессе экскавации. Но скатывание кусков по склону носит плавный характер, они не летят далеко, как при взрыве, и скапливаются у ограждения.

Фирма «Династат» (Германия) выпускает специальные антистатические маты для укрытия зарядов при работе в стесненных условиях, изготовленные из плотно связанных между собой полипропиленовых волокон. Они имеют массу 45 кг при площади 112 м² и стоимости 1 м² 7,5 марок ФРГ. Во время взрыва маты пропускают газы и мягко улавливают куски разрушенной породы. Для этого маты укладывают «рыхло», с большим количеством складок, избегая их непосредственного контакта с ДШ. Если на откос уступа ниже взрываемого слоя разместить такие легкие маты, они позволят дополнительно снизить динамику скатывания кусков породы по склону.

При торцевой выемке взорванного объема горной массы часть его оставляют в виде подпорной стенки, препятствующей разлету кусков при взрыве с торцевой части следующего взрываемого объема. Укрытие из газопроницаемых матов размещают только на верхней части и боковом откосе взрываемого участка уступа. Это позволяет упростить работы и снизить объем применения укрытий из газопроницаемых матов, заменив их в торцевой части уступа подпорной стенкой из необработанной горной массы.

Таким образом, предлагаемые технологии взрывного рыхления горных пород под укрытием позволяют перейти к концепции *аккуратного* взрывания и решить многие насущные вопросы при разносе бортов карьера, выемок магистральных дорог, откосов строительных площадок в населенных пунктах и в других стесненных условиях. Технологии не имеют аналогов в мировой практике, защищены более чем двумя десятками патентов России.

Библиографические ссылки

1. Пучков Л. А. Техника и технология взрывных работ в современных условиях. Основные проблемы и причины их возникновения, направления совершенствования // О состоянии взрывного дела в Российской Федерации. Основные проблемы и пути их решения: Материалы Всероссийской конференции. М., 2002.
2. Тангаев И. А. Энергоемкость процессов добычи и переработки полезных ископаемых. М., 1986.



3. *Оценка влияния выбросов и сбросов вредных веществ карьеров и фабрик ГОКов Кривбасса на окружающую среду / П. В. Бересневич, Ю. Г. Вилкул, В. Г. Лосьев и др. // Экологические проблемы горного производства, переработка и размещение отходов: Доклады 2-й научно-технической конференции. М., 1995.*

4. *Инструкция по обеспечению безопасности движения поездов при производстве буровзрывных и скальных работ на строительстве вторых путей. М., 1971.*

5. *Особенности взрывных работ в железнодорожном строительстве / В. Д. Родин, Ю. Л. Плюхин, О. А. Артамонов, А. И. Данилов // Горный журнал. 1999. № 7–8.*

6. *Шевкун Е. Б. Взрывные работы под укрытием. Хабаровск, 2004.*

7. *Авдеев Ф. А., Южаков С. В. Новый вид защиты от разлета кусков породы при взрывах // Взрывное дело № 61/18. М., 1966.*

8. *Андросов А. Д. Развитие технологии реконструкции глубоких карьеров Якутии. Новосибирск, 1991.*

9. *Демидюк Г. П. Применение энергетического принципа к расчету скважинных зарядов на карьерах // Взрывное дело № 62/19. М., 1967.*