

УДК 622.235:622.261

УПРАВЛЕНИЕ ИМПУЛЬСОМ ВЗРЫВА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК И УТИЛИЗАЦИИ КОНВЕРСИОННЫХ ВВ

*Шкуматов А.Н., к.т.н., доц., Калякин С.А., к.т.н., доц.
Донецкий национальный технический университет
г. Донецк, ул Артема, 58
E-mail: raisa@cs.dgtu.donetsk.ua*

Проанализовано стан питання управління імпульсом вибуху при будівництві гірничих виробок і знищенні конверсійних боєприпасів. Розроблено конструкції рефракторів - пристроїв для скривлення/переломлення продуктів вибуху. Зроблене теоретичне обґрунтування форм і експериментально визначений матеріал виготовлення рефракторів. Приведено результати лабораторних і промислових іспитів. Запропоновані технічні рішення керування енергією вибуху для зниження динамічних навантажень на внутрішню поверхню бронями при утилізації боєприпасів.

Ключові слова: рефрактор, утилізація боєприпасів, імпульс вибуху.

The state of an explosive impulse control in mining excavation building and destroying of conversion bombs is analyzed. The constructions of refractors (devices for the change of the moving direction of the explosive products) are developed. The theoretical foundation of the refractors' forms is executed and the material for the refractor production is experimentally defined. The results of the laboratory researches and industrial tests are described. The technical decisions of explosive energy control to decrease the dynamical press to the internal surface of an armoured pit during the bombs utilization are suggested.

Key words: refractor, salvaging the amunitions, pulse of blast.

Введение. Состояние взрывных технологий в горном деле требует качественно нового уровня использования энергии взрыва. Данные межведомственной ассоциации «Укрвзрывпром» [1] об объемах производства и расхода взрывчатых материалов свидетельствуют, что общий расход ВВ в горнорудной промышленности Украины в 2006 году достиг 85465,7 т. В угольной промышленности он превышает 5 тыс.т. С учетом потребления ВВ предприятиями нерудной промышленности (при добыче щебня, гипса, гранита) общее потребление ВВ в Украине превышает 100 тыс.т в год.

При этом объемы использования промышленных ВВ составляют около 56%, ВВ местного приготовления – 43%, а использование конверсионных ВВ – 1%. В настоящее время использование горными предприятиями ВВ собственного приготовления, в составе которых совсем отсутствует или существенно уменьшено содержание самого опасного компонента – тротила – постоянно возрастает. Аналогичная картина наблюдается в России и США, где на местах изготавливается 62 и 82,1% ВВ соответственно. Однако бестротиловые ВВ являются менее мощными и обладают более низкой детонационной способностью, поэтому необходимы новые технические решения, компенсирующие эти факторы.

Еще одной серьезной проблемой является уничтожение имеющегося в Украине большого количества отслуживших свой срок боеприпасов. Это требует строительства новых, либо модернизации существующих броней, поскольку взрывание на открытой поверхности представляет опасность из-за разлета осколков и выделения большого количества вредных газов взрыва. Бронямы должны обладать

достаточным сроком службы и быть устойчивыми к воздействию ударных волн (УВ) и продуктов детонации (ПД).

Цель работы. Повышение эффективности взрывания шпуровых зарядов за счет управления импульсом взрыва.

Материал и результаты исследования. Для достижения поставленной цели во взрывных камерах ДонНТУ и Макеевского научно-исследовательского института были проведены исследования с применением мгновенной фотосъемки, которые позволили установить следующее. При взрыве патрона ВВ, подвешенного к потолку камеры, продукты детонации распространялись в нескольких направлениях. При этом их большая часть (около 90%) была направлена под углом примерно 75...80° к продольной оси патрона ВВ, а оставшая часть (около 10%) - вдоль оси патрона (рис.1).

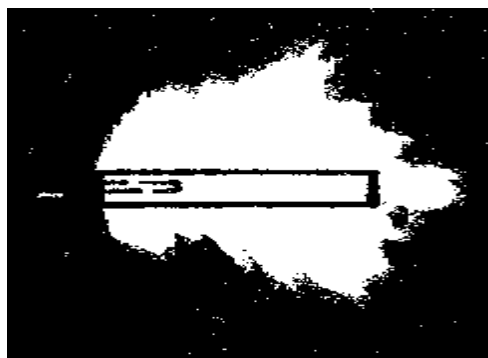


Рисунок 1 – Распределение продуктов детонации при взрыве патрона ВВ

При некачественной забойке эта часть газов взрыва отражается от дна шпура, увлекает за собой часть газов, направленных в стенки шпура и выталкивает забойку. Шпуры "стреляют". При нормальном качестве забойки ПД, распространяющиеся вдоль оси, рассеиваются в горном массиве. При этом глубина «стаканов» тем больше, чем выше прочность породы.

Идея работы заключается в применении в шпуровом заряде рефрактора – устройства для преломления/искривления УВ и ПД, позволяющего изменить направление движения части продуктов взрыва из осевого в радиальное.

Обоснование рациональных параметров рефракторов произведено с использованием положений аэродинамики.

При обтекании тела газом с большой сверхзвуковой скоростью оно оказывает сопротивление. Возникновение сопротивления обусловлено необратимым ростом энтропии в УВ, образующихся при обтекании тела. Чем большее возмущение вызывает тело в газе, тем интенсивнее УВ и тем больше оказываемое сопротивление. Поэтому при сверхзвуковой скорости сопротивление, испытываемое телом, существенным образом зависит от его формы. Наглядной иллюстрацией этой зависимости может служить рис. 2, где изображены два тела – конус и сфера, обладающие равным сопротивлением при большой сверхзвуковой скорости обтекающего потока.

Аэродинамически совершенной формой, т.е. формой с относительно малым давлением при обтекании потоком с гиперзвуковой скоростью, является тело, нормаль к поверхности которого мало отклоняется от плоскости, перпендикулярной к направлению движения. Таким является тонкое тело с заостренной головной частью [2].

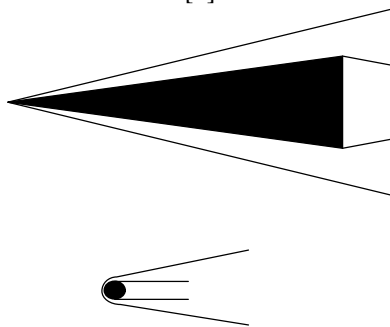


Рисунок 2 – Тела, обладающие равным сопротивлением при обтекании потоком с гиперзвуковой скоростью

Шпуровой вкладыш подобной формы был разработан в середине 80-х годов XX века на кафедре «Строительство шахт и подземных сооружений» Донецкого Национального технического университета [3]. Конструкция вкладыша приведена на рис. 3.

Вкладыш предназначен для изменения формы потока продуктов взрыва и направления их перемещения. Он размещается первым от дна шпура. УВ и ПД, перемещаясь при взрыве в сторону дна шпура,

встречают криволинейную поверхность вкладыша и, уплотняясь, обтекают ее. Цилиндрический поток продуктов взрыва, движущийся вдоль оси шпура, переходит в поток плоской формы, частицы которого перемещаются в радиальном направлении и подрезают породный массив в придонной части.

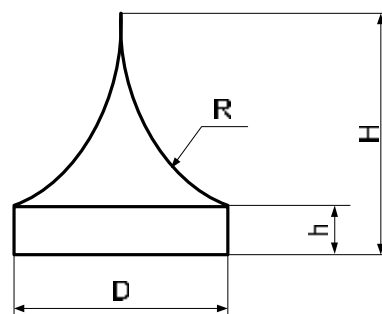


Рисунок 3 – Шпуровой вкладыш конструкции ДонНТУ

Однако общая длина H вкладыша не указана, что не дает возможности его практического использования. Кроме того, он обладает рядом недостатков. При игловидной конструкции хвостовой части его нельзя применять при использовании прессованных ВВ. Это может привести к наколу патрона ВВ при досылке в шпур забойки, что запрещено «Едиными правилами безопасности при взрывных работах». При использовании порошкообразных ВВ игловидная часть создает в патроне кумулятивное углубление, усиливающее осевой импульс взрыва. Отраженная ударная волна выталкивает забойку. Шпуры «стреляют» либо остаются «стаканы» (невзорвавшиеся части шпуров) большей длины, чем без использования вкладышей. Кроме того, авторами не указан материал изготовления.

В работе [4], выполненной в КГПУ им. Михаила Остроградского, обоснованы параметры конусообразного концентратора ударных волн (КУВ) в донной части скважины для интенсификации процесса разрушения твердой среды. Установлено, что длина участка (L), на который воздействует дополнительная динамическая нагрузка, создаваемая при отражении ударной волны, зависит от угла (α) при основании конуса и диаметра скважины (d_c). При этом угол α должен находиться в интервале 15-60°. За счет изменения направления движения отраженной волны проходимое ею расстояние до встречи с забойкой увеличивается и будет возрастать по мере приближения α к 45°.

Недостатком КУВ является выгорание насыпных ВВ и образование «стаканов» в придонной части скважины. Это вызвано уменьшением толщины слоя ВВ у основания конуса до величины, меньшей критического диаметра ВВ. Кроме того, ударная волна и ПД изменяют направление своего движения на угол, отличный от 90°. Вследствие этого часть энергии взрыва расходуется на бесполезное сотрясение массива, что приводит к уменьшению коэффициента использования скважины. КУВ такой формы нельзя применять в горизонтальных и наклонных шпурах, т.к. он является неустойчивым и будет ложиться на

стенку шпура.

Для устранения указанных недостатков предложена конструкция модифицированного рефрактора для осесимметричного перераспределения продуктов взрыва [5]. Учитывая, что давление на преграду, оказываемое УВ и ПД, движущимися с гиперзвуковой скоростью, в значительной мере зависит от формы ее головной части и площади сечения, контактирующей с этим потоком, определена рациональная форма рефрактора (рис. 4).



Рисунок 4 – Рефрактор для вспомогательных шпуров

Закругление головной части способствует отрыву потока от поверхности, что приводит к уменьшению лобового сопротивления, которое становится примерно на 10% меньше по сравнению с острым конусом. На основании вышеизложенного определена рациональная форма хвостовой части рефрактора – затупленный конус, сопрягающийся с цилиндром малого диаметра, находящимся в «аэродинамической тени». Поверхность сопряжения хвостовой части с нижним цилиндром образована дугой окружности [6]. Это обеспечивает плавный разворот потока ПД, движущихся с дозвуковой скоростью вдоль хвостовой части, в радиальное направление. Наличие нижней цилиндрической части диаметром, равным диаметру заряда, обусловлено необходимостью придания разработанной конструкции устойчивости при ее использовании в горизонтальных и наклонных шпурах. Ее длина должна быть минимальна во избежание образования «стаканов».

При определении влияния рефрактора на радиальный импульс взрыва зарядов ВВ были проведены испытания на баллистическом маятнике и на свинцовых цилиндрах с применением заряда, состоящего из аммонита №6 ЖВ и электродетонатора. Для условий эксперимента полный теоретический импульс, определяемый по формуле (1), составил $635 \text{ Н} \cdot \text{с}$:

$$I = \frac{8}{27} \cdot (m_{ВВ} \cdot D_{ВВ} + m_{дет} \cdot D_{дет}), \text{ Н} \cdot \text{с}, \quad (1)$$

где $m_{ВВ}$ - масса патрона ВВ, 0,050 кг;

$D_{ВВ}$ - скорость детонации аммонита №6 ЖВ, 4050 м/с;

$m_{дет}$ - масса первичного и вторичного инициирующих ВВ в электродетонаторе ЭДКЗ-0П, 0,0015 кг;

$D_{дет}$ - скорость детонации тэна, 7800 м/с.

Полный импульс взрыва, фиксируемый баллистическим маятником при проведении экспериментов, состоит из осевой и радиальной составляющих и может быть рассчитан следующим образом (2):

$$I_3 = \sqrt{(I^{\parallel})^2 + (I^{\perp})^2}, \text{ Н} \cdot \text{с}, \quad (2)$$

где I^{\parallel} - импульс взрыва, распространяющийся в осевом направлении;

I^{\perp} - импульс взрыва, распространяющийся в радиальном направлении.

Результаты проведенных испытаний и расчета полного импульса взрыва приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Значения импульсов взрыва для различных конструкций заряда

Конструкция заряда	Импульс взрыва, Н·с		
	осевой	радиальный	полный
Без рефрактора	12,9	16,9	21,3
С модифицированным рефрактором	10,9	19,0	21,9

Анализ результатов показывает, что полный импульс взрыва, фиксируемый баллистическим маятником, остается постоянным (различие в 0,6 Н·с или в 2,8% возникло за счет точности измерений). Осевой импульс при этом уменьшился на 15,5%, а радиальный – увеличился на 12,4%.

Поскольку модифицированные рефракторы выполняют осесимметричное перераспределение продуктов взрыва, их целесообразно применять во вспомогательных шпурах. В шпурах щелевого вруба и оконтуривающих энергию взрыва следует направлять строго в горизонтальном или вертикальном направлении (в зависимости от расположения соответствующих шпуров). Для этой цели разработана конструкция щелевого рефрактора [7], вид которого приведен на рис. 5.

Для обоснования его формы выполнен анализ и установлены закономерности обтекания плоской пластины (хвостовой части) потоком газа, движущимся с гиперзвуковой скоростью [8]. Торце хвостовой части закруглен. Разворотом продуктов взрыва управляют боковые криволинейные поверхности сопряжения пластины с нижней цилиндрической частью. Наличие нижнего цилиндра, как и в предыдущем случае, обусловлено необходимостью устойчивости рефрактора в горизонтальных и наклонных шпурах.



Рисунок 5 – Рефрактор для шпуров щелевого вруба и оконтуривающих

Для правильного расположения рефрактора в шпуре в его хвостовой части на 5...6 мм пропиливается углубление толщиной 2...3 мм, в которое вставляется «жало» (плоская пластина из цветного металла, не дающего искры), надеваемое на забойник.

Шпуровой заряд работает следующим образом. При взрыве детонатора детонационная волна по патронам ВВ распространяется в направлении дна шпура. Внутренняя забойка, состоящая из песчано-глинистой забойки и эластичной ампулы с обратным клапаном, заполненной жидкостью, препятствует движению продуктов детонации в сторону устья шпура. Ударная волна и продукты детонации, перемещающиеся в направлении дна шпура, встречая рабочую поверхность рефрактора, изменяют форму потока и направление перемещения. Продукты детонации из потока цилиндрической формы, движущегося вдоль оси шпура, переходят в два потока плоской формы, направления движения которых относительно первоначального направления изменяются на 90°. Перемещаются они в противоположном направлении от плоскости, проходящей через оси комплекта шпуров щелевого вруба и оконтуривающих. При этом энергия продуктов детонации будет направлена на выполнение полезной работы по подрезанию породного массива в придонной части шпуров. Это обеспечивает величину коэффициента использования шпуров, близкую к 1, и оказывает щадящее действие на законтурный породный массив.

Кроме того, использование рефрактора в шпурах щелевого вруба и оконтуривающих позволяет увеличить расстояние между ними, что снижает объем буровых работ.

Для определения влияния рефрактора для шпуров щелевого вруба и оконтуривающих при его различном расположении относительно баллистического маятника на перераспределение импульса взрыва были проведены эксперименты, результаты которых приведены в табл. 2.

Анализ экспериментов показывает, что применение рефрактора разработанной конструкции в шпу-

рах щелевого вруба увеличивает радиальный импульс на 35,5% и уменьшает осевой на 26,4% по сравнению с зарядом без рефрактора.

Таблица 2 – Значения импульсов взрыва при различных положениях рефрактора

Положение рефрактора	Направление распространения УВ и ПД	Обозначение импульса	Отклонение маятника, мм	Значение импульса, Н·с
Горизонтальное	осевое	$I_{//}$	35	9,52
Вертикальное, криволинейной частью к носку маятника	радиальное	I_1^{\perp}	62	16,86
Вертикальное, прямолинейной частью к носку маятника	радиальное	I_2^{\perp}	57	15,50

После выполнения лабораторных экспериментов предложенные конструкции прошли промышленные испытания.

Для производства рефракторов был выбран материал и разработана технология их изготовления. Рефракторы изготавливались в свинцовой матрице, состоящей из корпуса и плунжера. Испытывались составы из: цементного теста с добавлением различных присадок; измельченной горелой породы с террикона с добавлением цемента (цемента и воды); влажной глины; связующих материалов (гипс, алебастр) с добавлением воды. При проведении испытаний на прочность лучшие результаты показали образцы, изготовленные из алебаstra (гипса) с добавлением воды.

Для проведения промышленных испытаний разработана специальная методика, в которой указан объект испытания, приведены техническая характеристика и условия эксплуатации рефракторов. Описана физика процесса перераспределения импульса взрыва из осевого направления в радиальное при взрывании шпурового заряда предложенной конструкции. Определены цели и задачи испытаний, место, организация, продолжительность и программа их проведения. На ее основании разработано «Руководство по совершенствованию взрывных работ при проведении горных выработок и разделке сопряжений на шахтах ПО Донецкуголь» [9]. В нем выполнен анализ конструкций шпуровых зарядов при проведении горных выработок. Даны рекомендации по совершенствованию взрывных работ с целью повышения КИШ. На проведение промышленных испытаний получено «Письмо-разрешение...» Госгорпромнадзора территориального управления по Донецкой области.

Промышленные испытания проводились при выполнении темы «Совершенствование буровзрывных работ на шахте «Трудовская» ГХК Донуголь».

В соответствии с календарным планом было произведено 3 взрывания в забое западного полевого магистрального штрека горизонта 815 м. Горно-геологические условия проведения: категория шахты по газу –1–я; по пыли – опасная. Коэффициент крепости породы равен 4 по шкале проф. Протодьяконова М. М. Сечение выработки вчерне – 21,6 м². Тип ВВ – аммонит Т – 19. В соответствии с действующим паспортом БВР до внедрения бурилось 78 шпуров. После внедрения нового паспорта БВР общее количество шпуров уменьшилось до 66 (на 15,4%) за счет увеличения радиального импульса взрыва, что позволило увеличить расстояние между шпурами. При этом рефракторы использовались в 41 шпуре. Для сохранения законтурного массива в оконтуривающих шпурах рефракторы не применялись. По результатам испытаний были оформлены акты трех опытных взрываний. Сравнение показателей БВР до и после применения рефракторов сведены в табл. 3.

Таблица 3 – Сравнение показателей БВР

Наименование	Ед. изм	Значение		Отклонение
		до внедрения	после внедрения	
Количество шпуров	шт	78	66	-15,4%
Количество шпурометров	м	101,40	101,85	+0,44%
Длина шпура	м	1,30	1,55	+19,2%
Длина заходки	м	1,00	1,53	+53,0%
КИШ	-	0,77	0,99	+22,0%
Общий расход ВВ	кг	35,70	48,60	+36,1%
Удельный расход ВВ	кг/м ³	1,65	1,47	-10,9%

Анализ приведенных в таблице данных показывает, что использование модифицированных рефракторов позволило увеличить длину шпуров с 1,30 до 1,55 м (на 19,2%). Соответственно длина заходки возросла с 1,00 до 1,53 м (на 53,0%). КИШ повысился с 0,77 до 0,99 (на 22%). Удельный расход ВВ снизился с 1,65 до 1,47 кг/м³ (на 10,9%).

Полученный эффект по уменьшению осевого и увеличению радиального импульсов взрыва и подобию процессов распространения продуктов взрыва при уничтожении боеприпасов позволили применить предложенные технические средства управления энергией взрыва при решении задачи снижения динамических нагрузок на внутреннюю поверхность броняемы.

Поскольку разборка пришедших в негодность мин, снарядов и бомб чрезвычайно опасна и практически неосуществима, то масса одновременно взрывающихся в броняемах боеприпасов может достигать десятков и даже сотен килограммов в тротиловом эквиваленте. Поэтому целесообразно придавать

внутренней поверхности броняемы (взрывной камеры) рефракторообразную форму.

При проектировании соответствующей конструкции и определении размеров броняемы с целью снижения опасности взрыва необходимо учитывать следующие факторы, воздействующие на элементы конструкции: радиус действия продуктов взрыва, давление прямых и отраженных волн, время действия фазы сжатия ударной волны на стены и потолок, а также осколочное воздействие уничтожаемых боеприпасов, приводящее к снижению долговечности стен и потолка взрывной камеры.

Расчеты показывают, что при использовании разработанных технических решений происходит косое преломление УВ, и давление в отраженной волне снижается в 7,3...10,3 раза по сравнению с гладкостенной конструкцией. Это позволяет практически снять вопрос об устойчивости и прочности броняемы к импульсному действию ударных волн. Их значения практически снижаются до безопасных пределов для такого рода сооружений.

Выводы. Опыт применения рефракторов разработанных конструкций при производстве горнопроходческих работ на шахтах Донбасса обеспечил снижение затрат на проведение выработок в среднем на 500 грн/м. Использование предложенных решений при утилизации конверсионных боеприпасов существенно сокращает динамические воздействия на внутреннюю поверхность броняемы и повышает продолжительность ее эксплуатации.

Направлением дальнейших исследований является разработка конструкций рефракторов, обеспечивающих асимметричное перераспределение продуктов взрыва в требуемом направлении, модификация конструкций зарядов с их применением, а также устройств, позволяющих управлять импульсом взрыва не только у дна шпура, но и по всей длине заряда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Махоня І.В. Вибухові матеріали у вітчизняній промисловості: на шляху до Європейських стандартів. - <http://www.uvp.kiev.ua/index.php?idd=52&idnews=3>
2. Ньютон І. Математические начала натуральной философии. Собр. трудов акад. А.Н. Крылова, т. 7. - М.-Л.: Изд. АН СССР. – 1936. – С. 663-676, 682-687.
3. А.с. 1334875 СССР, МКИ F 42 D 3/04. Шпуровой заряд / А.Г. Гудзь и др. (СССР) – Заявл. 2.07.1985; Зарегистр. в Гос. реестре изобр. 1.05.1987.
4. Пеев А.М. Дослідження та розробка раціональних конструкцій подовжених зарядів з регулюванням динамічного навантаження донної частини свердловини. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.15.11. – Кременчук, 2005. – 21 с.
5. Шкуматов А.Н., Калякин С.А. Перераспределение импульса взрыва при помощи рефракторов // Взрывное дело. - М.: ЗАО «МВК по взрывному делу», 2007. – Вып. № 98/55. - С.120-128.

Статья поступила 25.01.2008.

Рекомендовано к печати д.т.н., проф. Воробьевым В.В.