

УДК 622.235.67:622.26

УПРАВЛЕНИЕ ИМПУЛЬСОМ ВЗРЫВА ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ БВР ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ВЫРАБОТОК

Шкуматов А.Н., Гонтарь Р.С.

Донецкий национальный технический университет, Донецк, Украина

Обоснована актуальность управления импульсом взрыва при проведении горных выработок. Теоретически обоснованы параметры шпуровых рефракторов. Приведены результаты лабораторных исследований и промышленных испытаний. Определены направления дальнейшей работы.

The actuality of the explosive impulse control for bore-explosive technology of mining excavations' building is analyzed. The blast (bore) hole refractors' parameters are validated. Results of laboratory and industrial tests are described. The future directions are defined.

Ключевые слова: импульс взрыва, гиперзвуковое обтекание, параметры рефрактора, баллистический маятник, шпуровой заряд, буровзрывные работы, проведение, горная выработка

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами

Проблема повышения эффективности буровзрывных работ особенно обострилась с переходом Украины к рыночной экономике. Совершенствование взрывчатых веществ (ВВ) не приводит к соответствующему повышению эффективности их использования, так как современные ВВ с существенно меньшим содержанием тротила являются менее мощными, имеют более низкую детонационную способность, а значительная часть энергии взрыва расходуется нерационально. Поэтому объективно возникла необходимость в дополнительных научных исследованиях, направленных на совершенствование существующих и разработку новых средств управления импульсом взрыва, которые обеспечивают улучшение технико-экономических показателей горнопроходческих работ.

Целью работы является совершенствование буровзрывной технологии проведения выработок за счет управления импульсом взрыва заряда ВВ. Идея работы состоит в использовании в шпуре (скважине) рефракторов для перераспределения импульса взрыва, воздействующего на разрушаемые горные породы, из осевого направления в радиальное.

Анализ исследований и публикаций

Управлению импульсом взрыва заряда ВВ посвящено значительное число исследований. Особое внимание в них уделено влиянию формы разрушаемого объекта, подвергающегося воздействию ударной волны (УД) и продуктов детонации (ПД), на эффективность взрывных работ.

В работах, выполненных еще в 30...40-х годах XX века, была произведена оценка сопротивления тел при гиперзвуковой скорости с помощью методов сверхзвуковой аэродинамики. Было обращено внимание на то, что картина обтекания тела газом с гиперзвуковой скоростью близко напоминает рассматривавшуюся еще Ньютоном [1] картину движения тел в сопротивляющейся среде, состоящей из отдельных, не взаимодействующих между собой частиц. Из рассуждений Ньютона вытекает, что давление, действующее на обращенный вперед элемент обтекаемого тела, пропорционально квадрату синуса угла встречи элемента с частицами среды. В работе

[2] была получена приближенная формула для расчета давлений на поверхности головной части профилей и тел вращений при гиперзвуковой скорости обтекания, уточняющая формулу Ньютона. Начало систематических исследований в области аэродинамики больших сверхзвуковых скоростей можно связать с работами конца 40-х годов прошлого столетия. В них установлено, что при обтекании тонкого тела сверхзвуковым потоком возмущения скорости частиц, малые по сравнению со скоростью набегающего потока, могут не быть малыми по сравнению со скоростью звука.

Учитывая вышеизложенное, на начальной стадии исследований был использован рефрактор для вспомогательных шпуров, форма которого описана в [3]. Однако, как показали дальнейшие эксперименты, 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 ЕПБ при взрывных работах. При использовании порошкообразных ВВ в патроне игловидная часть создает кумулятивное углубление, усиливающее осевой импульс взрыва. Отраженная ударная волна выталкивает забойку. Шпуры «стреляют» либо остаются «стаканы» (невзорвавшиеся части шпуров) большей длины, чем без использования рефракторов.

Постановка задачи

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- выполнить теоретические исследования по изучению взаимодействия ударной волны (УВ) и продуктов детонации (ПД) с рефрактором, размещаемым в шпуровом заряде;
- установить эмпирические зависимости импульса взрыва заряда ВВ от формы и размеров рефрактора и обосновать его рациональные параметры;
- провести лабораторные и промышленные испытания конструкций зарядов ВВ с рефракторами для определения их влияния на показатели буровзрывных работ при проведении горных выработок.

Теоретическое обоснование параметров рефрактора

Согласно теории Ньютона [1] давление на элемент поверхности тела зависит только от ориентации этого элемента по отношению к набегающему потоку частиц и не зависит от остальной части тела. Очевидно при этом, что сопротивление тела определяется только формой его головной части, поскольку только эта часть тела испытывает столкновение с частицами; теория Ньютона не дает возможности найти давление на участки поверхности тела, лежащие в его «аэродинамической тени» (внутри конуса Маха с углом при вершине 2α). При обтекании сильно вытянутого вдоль потока тела (напоминающего иглу) в непосредственной близости перед острием возникает возмущение плотности воздуха $\Delta\rho > 0$. Это возмущение в неподвижном воздухе распространялось бы в виде сферических волн, радиус которых увеличивался бы во времени. В сверхзвуковом потоке эти возмущения сносятся потоком ПД и остаются внутри конуса возмущений (конуса Маха). При обтекании сверхзвуковым потоком конического тела линии потока как бы «преломляются» на поверхности уплотнений воздуха. Для классификации течения применяется число Маха $M = v/c$ (отношение скорости течения к скорости звука в данном месте течения). В невозмущенном сверхзвуковом потоке $M > 1$. На поверхности конуса Маха из-за повышения плотности скорость звука возрастает, $M = 1$. У поверхности конуса воздух разрежен и его обтекание носит дозвуковой характер ($M < 1$).

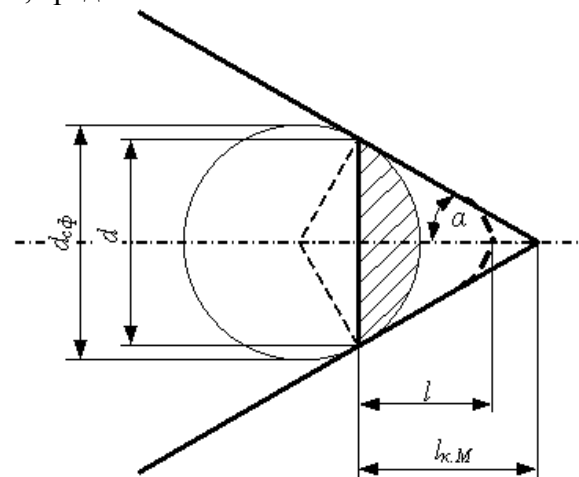
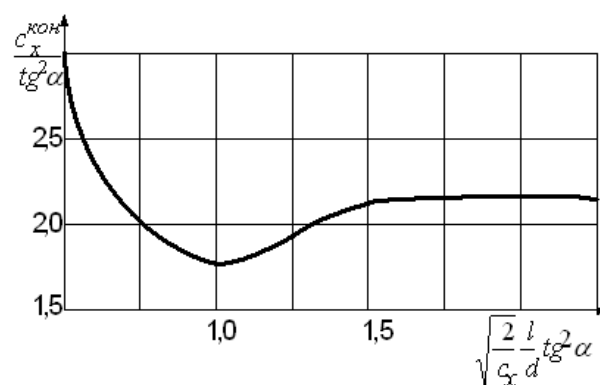
Согласно [4] суммарный импульс взрыва удлиненного заряда ВВ, приходящийся в любую точку плоскости, определяется из выражения $I = \sqrt{I_1^2 + I_2^2}$, где I_1, I_2 - импульсы взрыва вдоль оси и перпендикулярно оси распространения детонационной волны, соответственно. Поэтому изменение импульса по длине заряда не носит характера линейной зависимости.

Перераспределением УД и ПД из осевого направления в радиальное можно управлять параметрами модифицированного рефрактора, который вводится в конструкцию шпурового заряда первым от дна шпура.

Сила лобового сопротивления существенно зависит от формы обтекаемого тела. Для установления рациональной геометрической формы этой части рефрактора были проведены испытания с использованием металлических шаров различных диаметров. Установлено, что рабочей зоной (часть сферы, которая изменяет направление движения УВ и ПД) – является шаровой сегмент с диаметром $d = 0,75 \cdot d_{сф}$. Точное решение задачи об обтекании сверхзвуковым потоком тел вращения [5] показывает, что их коэффициенты сопротивления практически перестают меняться уже при числах М порядка 3-4 и составляют 0,92 и 0,6 для сферы и конической поверхности, соответственно. Закругление головной части способствует отрыву потока от поверхности тела, что приводит к уменьшению лобового сопротивления (рис.1а). Коэффициент сопротивления затупленного конуса зависит от полуугла раствора при

его вершине и выражается формулой $c_x^{кон} = \frac{2}{t^2} \cdot \left(1 + 2 \cdot \int_0^t \Delta p \cdot t \cdot dt \right) \cdot tg^2 \alpha$, где

$t = 2 \sqrt{\frac{2}{c_x}} \cdot \frac{l}{d} \cdot tg^2 \alpha$, l – длина затупленного конуса, мм; d – диаметр основания конуса, мм; α – полуугол раствора при вершине конуса, град.



а)

б)

Рис.1. Обтекание сверхзвуковым потоком тел вращения:

- а) коэффициент сопротивления затупленного конуса;
- б) параметры конуса Маха и затупленного конуса

При $\frac{l}{d} \approx \frac{0,96}{tg^2 \alpha} \sqrt{\frac{c_x}{2}}$ коэффициент сопротивления конуса имеет минимум,

причем относительное уменьшение сопротивления по сравнению с острым конусом достигает 10%. Следовательно, при обтекании тел вращения потоком с гиперзвуковой

скоростью небольшое затупление переднего конца тела, препятствующее вдавливанию рефрактора в патрон ВВ, не увеличивает сопротивления тела.

С учетом полученных результатов построен конус Маха (рис.1б). Его длина определяется из выражения $l_{к.М} = \frac{d \cdot \operatorname{ctg} \alpha}{2}$, а угол $\alpha = \arccos \frac{d}{d_{сф}}$. Эквивалентный

ему затупленный конус имеет длину, определяемую из соотношения l/d . Для придания рефрактору длиной H устойчивости при его применении в горизонтальных и наклонных шпурах необходимо наличие цилиндрической части диаметром D , равным диаметру заряда ВВ. Однако, ее длина h должна быть минимальной, чтобы не оставались «стаканы». Высота криволинейной части $(H - h)$ должна быть достаточной для разворота УВ и ПД. Поскольку рефрактор однородный, достаточно, чтобы его центр веса располагался в цилиндрической части. Следовательно, масса m_1 цилиндрической части должна быть большей или равной массе m_2 криволинейной части, то есть $V_1 \cdot \rho_1 \geq V_2 \cdot \rho_2$. Поскольку плотности ρ_1 и ρ_2 равны, рефрактор будет устойчив при $V_1 = \pi \frac{D^2}{4} \cdot h$, где $h \geq \frac{4 \cdot V_2}{\pi \cdot D^2}$ [6].

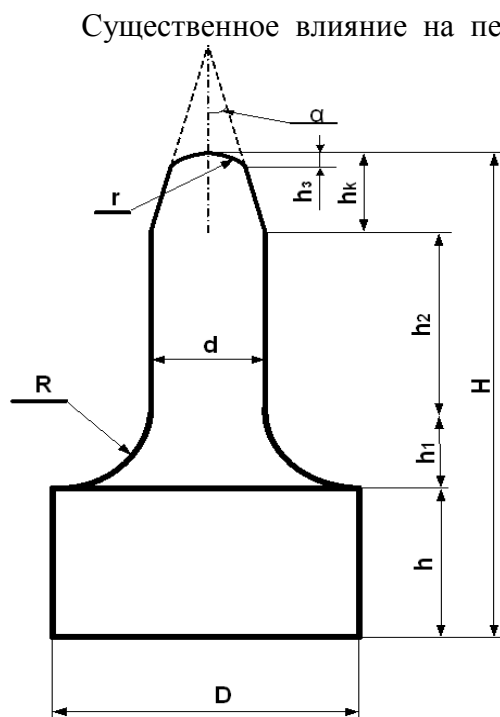


Рис.2. Рациональная форма рефрактора

Существенное влияние на перераспределение осевого импульса в радиальный оказывает форма сопряжения хвостовой и цилиндрической частей рефрактора. Поверхность сопряжения может быть образована дугами окружности, лемнискатами, параболами и другими кривыми второго порядка. Необходимым условием является плавность профиля, обеспечивающая разворот потока ПД, движущегося с дозвуковой скоростью ($M < 1$) внутри конуса Маха. Отраженные многократно от стенок шпура продукты взрыва, соударяясь с криволинейной поверхностью сопряжения хвостовой и цилиндрической частей рефрактора, также перераспределяются в радиальном направлении от заряда. Наиболее полно этому требованию соответствует дуга окружности радиусом R . Следовательно, рациональная форма рефрактора имеет вид, изображенный на рис. 2.

Лабораторные исследования

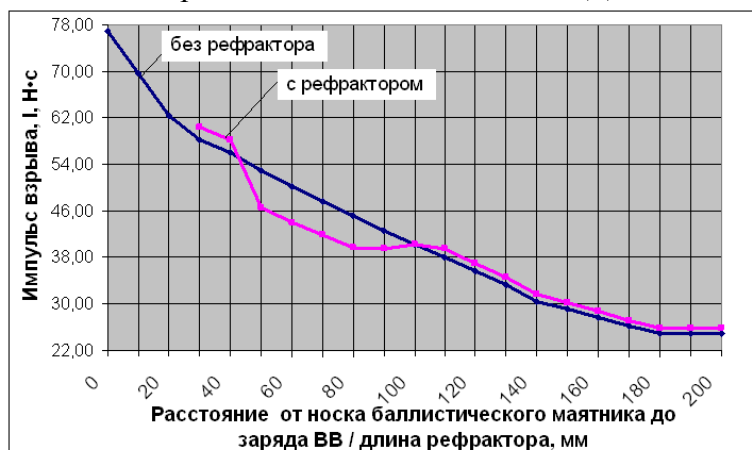
Лабораторные исследования по установлению влияния рефрактора на перераспределение импульса взрыва из осевого направления в радиальное проведены на баллистическом маятнике. Его отклонение l_1 , в мм, принято в качестве меры оценки результатов взрыва. Взаимосвязь значения осевого импульса I_1 с отклонением баллистического маятника имеет вид $I_1 = 0,272 \cdot l_1$. На l_1 оказывают влияние как геометрические параметры рефрактора, так и условия проведения эксперимента, а

именно: тип применяемого ВВ, расположение ВВ относительно носка маятника, масса рефрактора и другие.

Для установления зависимости отклонения маятника от исследуемого конкретного фактора необходимо исключить или компенсировать различия от других факторов. Для этого вводятся поправочные коэффициенты, математические выражения для определения которых приведены в [7]. С их использованием рассчитывают величину приведенного отклонения баллистического маятника, равную

$$l_{\text{привед}} = l_1 \cdot k_{\text{ВВ}} \cdot k_m \cdot k_{\text{рст}} \cdot k_H.$$

Сравнение экспериментальных зависимостей без применения рефрактора и с ним (рис. 3) позволило выделить три зоны. В интервале от 40 мм до 100 мм рефрактор изменяет направление движения УВ и ПД из осевого направления в радиальное. Это



оказывает «сдающее» воздействие на маятник. При длине рефрактора меньше 40 мм и больше 100 мм его применение неэффективно, так как вызывает большее отклонение маятника. Это объясняется тем, что в первом случае ПД не успевают изменить направление своего движения и сообщают рефрактору дополнительный импульс. Во втором случае рефрактор выполняет роль бойка. Передаваемый им осевой импульс превышает значение осевого импульса,

Рис. 3. Зависимости осевого импульса взрыва от расстояния между баллистическим маятником и зарядом ВВ и от длины рефрактора

передаваемого ПД, которые рассеиваются в пространстве и оказывают меньшее воздействие.

По экспериментальной совокупности точек построены регрессионные уравнения, которые с достаточно высокой достоверностью описывают влияние параметров рефрактора на величину осевого импульса взрыва заряда ВВ [7].

Эксперименты показали, что при взрывании без использования зарядной камеры отношение величины радиального импульса взрыва к торцевому равно 0,925. При расположении рефрактора в донной части зарядной камеры отношение возрастает до значения 1,12.

Внедрение результатов

Опытно – промышленное внедрение паспортов БВР с применением разработанных конструкций шпуровых рефракторов произведено при проведении горных выработок на ряде шахт Украинского Донбасса («Лидиевка» и «Трудовская» ГП Донецкуголь, «Иловайская» ГП Октябрьуголь).

При проведении западного полевого магистрального штрека горизонта 815 м на ш. «Трудовская» были применены рефракторы модифицированной конструкции. Горно-геологические условия проведения: категория шахты по газу – 1 –я; по пыли – опасная. Коэффициент крепости породы - 5-6. 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 за счет увеличения расстояния между шпурами вследствие более

эффективного использования энергии взрыва. Сравнение показателей БВР до и после применения рефракторов сведены в табл. 1.

Таблица 1. Сравнение показателей БВР до и после внедрения рефракторов

Наименование	Значение		Отклонение
	до	после	
Количество шпуров, шт	78	66	-15,4%
Количество шпурометров, м	101,40	101,85	+0,44%
КИШ	0,77	0,99	+22,0%
Удельный расход ВВ, кг/м ³	1,65	1,47	-10,9%

Аналогичные результаты получены при использовании рефракторов на других шахтах: КИШ повысился в среднем на 20%, количество шпуров сократилось на 15%, удельный расход ВВ сократился в среднем на 10% [8].

Заключение

Теоретически обоснована форма и экспериментально уточнены рациональные параметры модифицированного рефрактора, перераспределяющего УВ и ПД из осевого направления в радиальное. Установлено, что применение шпуровых рефракторов уменьшает осевой импульс взрыва в 2,37 раза и увеличивает радиальный импульс в 1,39 раза. Это позволяет интенсифицировать БВР за счет сокращения числа шпуров и повышения КИШ, что обеспечивает возрастание скорости проведения горных выработок на 8-12%.

Направление дальнейших исследований

Направлением дальнейших исследований является разработка конструкций рефракторов для применения в неоднородных горных породах; подбор материалов для их изготовления, повышающих безопасность ведения взрывных работ; расширение объема промышленного внедрения.

Перечень ссылок

1. Ньютон И. Математические начала натуральной философии. Собр. трудов акад. А.Н.Крылова, т. 7. - М.-Л.: Изд. АН СССР. – 1936. – С.663...676, 682...687.
2. Busemann A. Aerodynamischer Auftrieb bei Überschallgeschwindigkeit. Atti Acad. D'Italia (Volta Conv.), Roma, 1936.
3. Shevtsov V, Shkumatov A., Labinskiy K., Moroz O. New technical solution in conducting mining excavations // Transactions of the VSB – Technical University Ostrava Mining and Geological Series, 2003. - №1 -Р. 137-140.
4. Баум Ф.А. и др. Физика взрыва / Под. ред. Ф.А. Баума. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1975. – С. 304...316, 329...337.
5. Черный Г.Г. Течения газа с большой сверхзвуковой скоростью. М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1959. – 220 с.
6. 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.
7. Шкуматов А.Н. Разработка средств интенсификации БВР при строительстве горных выработок // Перспективы развития восточного Донбасса: сборник научных трудов. – Новочеркасск, 2008. – Ч. 1. - С. 167–173.
8. Шкуматов А.Н., Черкасов И.А. Совершенствование буровзрывных работ на шахтах украинского Донбасса // Глюкауф на русском языке, 2008. - № 4. - С. 25-27.