

УДК 504.4:622.235

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЕДЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ ПРИ ПОДВОДНОЙ ДОБЫЧЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

МАНДРИКЕВИЧ В. Н.^{1*}, *ст. преподаватель*,
МОРОЗОВА Т. В.^{2*}, *ст. преподаватель*,
УСИК И. И.³, *к.т.н., доц.*

^{1*} Кафедра физики, ВУЗ “Национальный горный университет”, пр. Карла Маркса 19, г. Днепропетровск, Украина, 49600, тел. +38 (056) 373-07-34, e-mail: bazilymanri@i.ua, ORCID ID:0000-0002-3998-820X

^{2*} Кафедра физики, ВУЗ “Национальный горный университет”, пр. Карла Маркса 19, г. Днепропетровск, Украина, 49600, тел. +38 (0562) 46-99-24, , e-mail: nmumorozova@gmail.com.

³ Кафедра строительства, геотехники и геомеханики, ВУЗ “Национальный горный университет”, пр. Карла Маркса 19, г. Днепропетровск, Украина, 49600, тел. +38(0562) 47-24-31, e-mail: UsikI@nmu.org.ua.

Аннотация. Проанализированы особенности взрывания зарядов взрывчатого вещества на океаническом дне. Рассмотрены вопросы локализации действия ударной волны при подводной добыче полезных ископаемых. **Результаты.** Проведен анализ возможности подводной добычи полезных ископаемых с океанического дна. **Научная новизна.** Впервые рассчитаны параметры и разработаны конструкции зарядов взрывчатых веществ для подводных взрывов. **Практическая значимость.** Доказана возможность отработки подводных месторождений полезных ископаемых при максимальной защите ихтиофауны.

Ключевые слова: океаническое дно; ударная волна; взрывные работы; взрывчатое вещество;кумулятивный заряд; термит

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВЕДЕННЯ ВИБУХОВИХ РОБІТ ПРИ ПІДВОДНОМУ ВИДОБУВАННЮ КОРИСНИХ КОПАЛИН

МАНДРИКЕВИЧ В. М.^{1*}, *ст. викладач*,
МОРОЗОВА Т. В.^{2*}, *ст. викладач*,
УСИК І. І.³, *к.т.н., доц.*

^{1*} Кафедра фізики, ВНЗ “Національний гірничий університет”, пр. Карла Маркса 19, г. Дніпропетровськ, Україна, 49600, тел. +38 (056) 373-07-34, e-mail: bazilymanri@i.ua, ORCID ID:0000-0002-3998-820X

^{2*} Кафедра фізики, ВНЗ “Національний гірничий університет”, пр. Карла Маркса 19, г. Дніпропетровськ, Україна, 49600, тел. +38 (0562) 46-99-24, , e-mail: nmumorozova@gmail.com

³ Кафедра будівництва, геотехніки і геомеханіки, ВНЗ “Національний гірничий університет”, пр. Карла Маркса 19, г. Дніпропетровськ, Україна, 49600, e-mail: UsikI@nmu.org.ua.

Анотація. Проаналізовано особливості підривання зарядів вибухової речовини на океанічному дні. Розглянуто питання локалізації дії ударної хвилі при підводному видобутку корисних копалин. **Результати.** Проведено аналіз можливості підводного видобутку корисних копалин з океанічного дна. **Наукова новизна.** Вперше розраховані параметри і розроблено конструкції зарядів вибухових речовин для підводних вибухів. **Практична значимість.** Доведено можливість відпрацювання підводних родовищ корисних копалин при максимальному захисті іхтіофауни.

Ключові слова: океанічне дно; ударна хвиля; вибухові роботи; вибухова речовина;кумулятивний заряд; терміт

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF BLASTING PRACTICE IN UNDERWATER MINING

MANDIKEVYCH V. N.^{1*}, *Senior Lecturer*,
MOROZOVA T. V.^{2*}, *Senior Lecturer*,
USIK I. I.³, *Cand. Sc. (Tech), Assoc. Prof.*

^{1*} Department of physics, HEI “National Mining University”, 19 Karl Marx Av., Dnepropetrovsk Ukraine, 49600, phone +38 (056) 373-07-34, e-mail: bazilymanri@i.ua, ORCID ID:0000-0002-3998-820X

^{2*} Department of physics, HEI “National Mining University”, 19 Karl Marx Av., Dnepropetrovsk Ukraine, 49600, phone +38 (0562) 46-99-24, e-mail: nmumorozova@gmail.com.

³ Department of construction, geotechnics and geomechanics, HEI “National Mining University”, 19 Karl Marx Av., Dnepropetrovsk Ukraine, 49600, phone +38 (0562) 47-24-31, e-mail: UsikI@nmu.org.ua.

Abstract. Features of blasting explosive charges on the ocean floor were analysed. The problems of shock effect localization in underwater mining are considered. **Result.** The analysis of the possibility of underwater mining of minerals from the ocean floor. **Scientific novelty.** For the first time, the parameters and developed designs of explosives for underwater explosions. **Practical meaningfulness.** It proved the possibility of underwater mining of mineral deposits at maximum protection of ichthyofauna.

Keywords: ocean floor; shock wave; blasting; blasting explosive; cumulative charge; thermit

В настоящее время в мире ежегодно добываются миллиарды тонн полезных ископаемых (ПИ). При существующем объёме их добычи запасов месторождений ПИ в недрах Земли, приуроченных к суше, может хватить, лишь на несколько сотен лет. Естественно, что внимание горнодобывающей промышленности всё в большей степени приковывается к возможностям извлечения минеральных ресурсов, залегающих на океаническом дне [1]. Добыча полезных ископаемых, залегающих на морском дне, экономически выгоднее, чем на суше. Например, при разработке месторождений не нужны подъездные пути, отвалы и различного рода хранилища. Не требуется проведение вскрышных работ, исключается необходимость в отчуждении сельскохозяйственных земель с последующей их рекультивацией. Однако, несмотря на все преимущества подводной добычи одной из основных проблем при производстве взрывных работ под водой до сих пор остаётся защита водной среды, ихтиофауны от воздействия ударной волны.

До настоящего времени отбойка скальных пород на больших (1-2 км и больше) глубинах морей и океанов не проводилась. Не было до сих пор и целенаправленных исследований такой отбойки, которая, как показывает анализ, настолько специфична, что может возникнуть мнение о практической невозможности или целенаправленности взрывных работ в этих условиях. Имеющийся опыт работ на карьерах и рудниках, при дноуглубительных операциях на небольших глубинах, а также результаты различных научных исследований не дают прямого ответа на вопрос, но, в известной мере, могут быть использованы в оценках особенностей глубоководного взрывания.

При разрушении горных пород на дневной поверхности используют два способа взрывных работ – зарядами внутреннего и зарядами наружного действия с применением или без применения забойки [2]. Основные достоинства способа взрывания наружными зарядами заключаются в исключении буровых работ, внутренними – в невысоких расходах взрывчатых веществ (ВВ). При взрывании наружных зарядов образуются мощные воздушные ударные волны, при взрывании внутренних – повышено сейсмическое действие взрыва.

Разрушение горных пород на океаническом дне имеет определенные особенности, обусловленные, прежде всего, наличием воды, повышенным

противодавлением с глубиной, а в ряде случаев – и высокой температурой. Влияние первого фактора на работу взрыва изучено наиболее полно и вызвано, например, при взрывании внутренних зарядов изменением формирования отраженных волн разрежения и условий разброса продуктов разрушения [2]. Влияние второго фактора изучено значительно меньше [3]. Влияние же третьего фактора практически не изучено, однако сводится, по-видимому, к усложнению технологии подготовки взрывов. Четвертый фактор предъявляет особые требования к ВВ, зарядам и технологии работ, которые, поэтому показателю, приближаются к работам при взрывании горячих массивов на металлургических предприятиях.

Разработанный ранее в горном университете способ группового скважинного взрывания, для проходки профильных сооружений, послужил основой для создания методов разрушения сульфидных руд в условиях противодавления до 40Мпа, то есть на больших морских глубинах. Разрушение горных пород на океаническом дне имеет определенные особенности, которые обусловлены, прежде всего, наличием воды, повышенными противодавлениями с глубиной, а в ряде случаев – и высокой температурой. Все эти перечисленные факторы предъявляют особые требования к ВВ, зарядам и технологии работ. Анализ существующих данных по простреливаемости различных горных пород показывает, что характер протекания процессов наружных взрывов под слоем воды и в зарядной полости при прострелке шпуров и скважин имеет много общего. И в том и в другом случаях работа взрыва выполняется в плотной среде, где расширение газов на начальной стадии процесса мало зависит от прочности, хотя расширение продуктов детонации в первом случае происходит в основном в направлении водного слоя, прилегающего к заряду. Показатель простреливаемости изменяется от 150 до 3,5дм³/кг при переходе от пород IV к породам XI группы по СНиПу. Значит, для получения камуфлетных полостей объемом 1м³ необходимо взрывать заряды весом от 6,6 до 285кг. Это практически такие же заряды, какие необходимы для разрушения тех же объемов тех же пород под водой. Прямая связь здесь налицо и можно отметить, что объемы разрушения пород на поверхности горных массивов определяются разрушениями среды на фронте и за фронтом падающей ударной волны. Эти разрушения

тем больше, чем больше, следовательно, параметры взрывных волн и выраженное их геометрическое расхождение. Расход ВВ при дроблении 1000м³ негабаритных породных кусков разной прочности на дневной поверхности колеблется, в среднем, от 720 до 2400кг, под водой же – от 620 до 2000кг. При дроблении подводных негабаритов до щебня расход ВВ повышается до 1860 – 6000кг, оставаясь в 15–50 раз меньше чем при разрушении пород у поверхности массива при наличии только одной свободной поверхности, причем при взрывании, когда образование отраженной волны разрежения затруднительно и не всегда возможно. Анализ приведенных выше данных позволяет сделать вывод, что рациональным является применение в таких условиях метода отбойки наружными зарядами, в частности кумулятивными. На основе выше сказанного разработан способ подводного короткозамедленного уступного взрывания горных пород системой (группами) кумулятивных зарядов. Для повышения эффективности действия каждого отдельного заряда в группе разработана специальная демпфирующая оболочка, увеличивающая выход продуктов взрыва в кумулятивную струю на 12–18%. Эффект взрыва еще больше увеличивается если применять удлиненные кумулятивные заряды.

Разработка данного способа показала направление исследования и возможности увеличения кумулятивного действия взрыва при использовании в качестве ВМ порошковых, смесевых или водогелевых ВВ (ВГВВ) для дробления негабаритных кусков горных пород различной крепости в условиях карьеров, шахт и рудников (рис.1). Так как,



Рис. 1. Варианты кумулятивных зарядов./

Variants of cumulative charges

- 1 – ЗКНКЗ; 2 – демпфирующая оболочка;
3 – боевик из ДШ; 4 – шпигат; 5 – вариант сквозной кумулятивной выемки; 6 – порошковое ВВ или ВГВВ.

несмотря на совершенствование первичной отбойки, добиться полной ликвидации негабаритных фракций во взорванной горной массе не удается. Установлено, что для раскалывания негабарита необходимо, чтобы давление ПВ было равно $P_{кр} \sim 3 \text{ ГПа}$, и чтобы за время порядка 1мс оно снизилось на 2-3 порядка. Однако напряжения в негабарите уменьшаются быстрее, чем нужно для роста трещины, поэтому в ВВ вводят добавки, которые вначале снижают давление в полости взрыва до $P = P_{кр}$, а после уменьшения давления до $P < P_{кр}$ добавки энергию возвращают, то есть на первом этапе взрыва часть упругой энергии ПВ переходит в тепловую, а на втором – наоборот. Время приложения взрывной нагрузки увеличивают

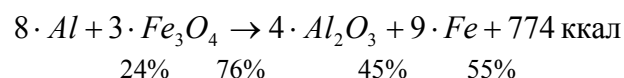
применением специальной оболочки кумулятивного заряда. Давление ПВ в струе в 3-4 раза больше давления во фронте детонационной волны, а скорость газов в струе равна 4-5км/с, при времени ее воздействия на породу ~30-40мс. К моменту раскрытия оболочки давление в ПВ $\sim 10^8 \text{ Па}$, что превышает давление, при котором трещины прекращают рост. При осторожной оценке, время, за которое давление у оси заряда упадет до критического, можно положить равному времени прохождения волны разрежения от поверхности заряда до его центра и назад, то есть ~150мс.

Проведенные оценочные расчеты и экспериментальные исследования показывают, что кумулятивные заряды, например, из порошкового аммонита №6ЖВ с оболочкой или из ВГВВ, типа Гелекс-650 не только могут заменить заряды из тротила, но оказываются еще более эффективными.

В современных промышленных ВВ содержатся органические и неорганические нитраты, нитросоединения, различного рода углеродистые соединения, металлы, неорганические соли – пламегасители. При взрыве таких ВВ могут образоваться ядовитая окись углерода (СО), окислы азота (NO; NO₂; N₂O₃) и другие ядовитые газы. При взрывании таких ВВ существует возможность химического взаимодействия продуктов взрыва с окружающей средой с восстановлением CO₂ до СО. При взрыве хлоратных и перхлоратных ВВ может выделяться ядовитый хлористый водород. Выделяемые при взрыве газы, взаимодействуя с водой, могут образовывать кислоты и щелочи, негативно влияющие на состояние водного бассейна. Поэтому особые требования должны предъявляться также и к ВВ.

Анализ вышеизложенных факторов ведения взрывных работ при подводной добыче ПИ выявляет возможность локализовать действие взрыва. Для этого на границах обрабатываемого участка необходимо создать “экран”, в котором ударная волна, претерпев фазовый переход, полностью погасится. Из известных способов наиболее эффективны пузырьковая завеса и динамический экран из сетки детонирующего шнура.

Однако наиболее эффективный способ защиты ихтиофауны от распространяющейся ударной волны – применение, трубочек из прессованного термита. Термит представляет собой порошкообразную смесь окиси железа и алюминия. Воспламеняют термит специальными запальными спичками, содержащими магний, бертолетову соль, алюминий в порошке, серу, перекись бария или двуокись марганца. Реакция протекает следующим образом:



Порошкообразный алюминий обладает способностью при горении восстанавливать металлы

из их окислов с выделением при этом большого количества тепла.

За счет окислов железа термит может гореть без доступа воздуха, в том числе под водой. Температура горения термита колеблется в пределах 2000-3500°C. При такой температуре вода вскипает и

превращается в пар, образуя мощную пузырьковую завесу, являющейся преградой для распространяющейся ударной волны.

Подбор состава взрывчатых веществ, а также термитных смесей требует дальнейшего изучения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бондаренко А. А. Современное оборудование и технологии для подводной добычи полезных ископаемых / Горная техника 2005 // Каталог- справочник. -Санкт-Петербург - ООО „Славутич”. - 2005.-с. 22-29.
2. Кутузов Б. Н. Взрывное и механическое разрушение горных пород. / М., «Недра», 1973, с. 311.
3. Ханукаев А. Н. и др. Снижение напряжённости горного массива с помощью взрыва. / Ханукаев А.Н. и др. // М., «Наука», 1979, с.120

REFERENCES

1. Bondarenko A.A. *Sovremennoe oborudovanie I tehnologii dliy podvodnoy dobichi poleznych iskopaemih* Gornaiy tehnika 2005 // Katalog – spravochnik . Sankt Peterburg – ООО “Slavutich”. – 2005.-p. 22-29.
2. Kutuzov B.N. *Vzrivnoe I mehanicheskoe razrushenie gornih porod.* . [Explosive and mechanical destruction of rocks] М., “Nedra”, 1979, p. 311
3. Hanukaev A.N. and dr. *Snigenie napriygennosti gornogo massiva s pomoshiy vzriva.* [Reduction of the intensity of the mining massif with the help of an explosion] М., “Nauka”, 1979, p.120.

Стаття надійшла в редколегію 29.03.2017