

ОБОСНОВАНИЕ ЧИСЛА ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ДЕТОНАТОРОВ ДЛЯ ИНИЦИИРОВАНИЯ СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ ВВ

С.А. Калякин

Донецкий национальный технический университет

ул. Артема, 58, 83001, г. Донецк, Украина.

E-mail: yglenit@gmail.com

В.С. Прокопенко

ЗАО «Техновзрыв»

ул. Светлицкого, 35, 04208, г. Киев, Украина.

В статье предложен метод определения необходимого числа промежуточных детонаторов (ПД) в скважинах для надежного инициирования скважинного заряда. Он основан на рассмотрении критических условий инициирования скважинного заряда, при которых достигается режим детонации с максимальной скоростью и полнотой выделения энергии зарядом ВВ. Это может быть достигнуто только при определенных соотношениях масс зарядов и длин зарядов инициатора и основного заряда ВВ. Получены критические условия инициирования, необходимые для возбуждения максимальной скорости детонации у простейших ВВ типа ANFO промежуточным детонатором.

Ключевые слова: скважинный заряд, промежуточный детонатор, взрывчатое вещество, скорость детонации, мощность детонационной волны, инициирующая способность.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. В настоящее время на открытых горных работах большое число крупных предприятий применяют простейшие взрывчатые вещества (ВВ), представляющие собой смеси гранулированной аммиачной селитры (ГАС) и твердого или жидкого горючего. Наиболее широко используется смесь, ГАС и дизельного топлива (АС-ДТ, ANFO). В развитых странах мира на карьерах объемы использования простейших ВВ такого состава достигают 80...90% от всего объема промышленных ВВ [1]. Столь большой объем потребления простейших ВВ типа ANFO в значительной мере связан с разработкой и производством пористой ГАС с высокой удерживающей способностью жидких нефтепродуктов и их низкой чувствительностью к механическим воздействиям. Однако требует применения большого количества специальных промежуточных детонаторов для инициирования скважинных зарядов ВВ.

На открытых горных работах в Украине наибольший объем применения имеют эмульсионные ВВ (ЭВВ). Объем применения ВВ простейшего состава типа АС-ДТ или игданита не превышает 10%. Это связано с тем, что данные ВВ имеют невысокую детонационную способность по сравнению с ЭВВ и требуют специальных способов инициирования скважинных зарядов, и соответствующих промежуточных детонаторов из дорогих бризантных ВВ.

Анализ последних исследований и публикаций показал, что сдерживающими факторами крупномасштабного применения простейших ВВ на карьерах

Украины являются отсутствие производства пористой ГАС, в связи с чем ВВ на обычной не пористой ГАС имеют низкую физико-химическую стабильность и высокую миграцию дизельного топлива в скважинном заряде, а также и то, что при применении скважин небольшого диаметра игданит имеет явно выраженный неблагоприятный режим протекания детонации [2,3] и требует надежного инициатора - ПД. Вследствие низкой водоустойчивости ВВ типа ANFO, АС-ДТ и сравнительно невысокой их плотности энергии взрыва в скважине, по сравнению с водосодержащими и ЭВВ применяются специальные наполнители и полимерные рукава, которые позволяют формировать скважинный заряд требующий эффективного инициирования этих ВВ и промежуточных детонаторов, обеспечивающих надежное инициирование скважинных зарядов. Поэтому задача оптимизации параметров ПД для инициирования зарядов простейших ВВ с наполнителями в скважинах различного диаметра требует решения, так как позволит расширить область и объемы применения этих ВВ при взрывных работах и значительно повысит эффективность взрывного способа разрушения горных пород на открытых работах.

Целью работы является исследование оптимальных параметров промежуточных детонаторов для инициирования простейших ВВ и установление необходимого числа ПД в скважинах.

МАТЕРИАЛЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Известно, что скважинные заряды простейших ВВ не всегда детонируют полностью или в идеальном режиме обеспечивающем максимальную скорость детонации ВВ – D_{max} .

В вертикальных скважинах у ВВ типа игданит дизельное топливо не удерживается на гранулах аммиачной селитры и стекает в донную часть скважины. Верхняя часть скважины с зарядом ВВ при этом обедняется, а нижняя перенасыщается топливом. Замена дизтоплива на специальную горючую добавку - наполнитель позволяет исключить этот процесс. Однако у заряда такого ВВ вследствие флегматизации гранул селитры горючим наполнителем по его длине может нарушаться устойчивая детонация ВВ и происходит неполное выделение энергии взрыва. Поэтому необходимо надежное инициирование заряда ВВ и выбор для этого нужного числа ПД.

В работе [4] проведены исследования устойчивости детонации простейших ВВ типа игданита в скважинах диаметром 203 и 228 мм, иницируемых промежуточными детонаторами из зарядов типа ТГ (тротил-гексоген), литого тротила и аммонита 6ЖВ массой 0,5...1,0 кг. График изменения скорости детонации игданита по длине скважинного заряда, начиная от места инициирования заряда, показан на рис. 1. Исследования показали, что скорость детонации ВВ вдоль оси скважинного заряда непостоянна и зависит от массы промежуточного детонатора. Характерным было то, что измеренная скорость детонации у ВВ типа ANFO была ниже, чем его максимально возможная - D_{max} . Оказалось, что заряды игданита и ANFO в скважинах различного диаметра детонируют не стабильно, а в пульсирующем режиме детонации. Этот режим детонации обусловлен тем, что инициирование скважинных зарядов

осуществляется промежуточными детонаторами, имеющими неоптимальные параметры инициирования простейших ВВ. Поэтому величина скорости детонации ВВ и ее стабильность по длине скважинного заряда зависит от массы промежуточного детонатора и других факторов, которые необходимо установить в процессе исследований. Исследования были проведены в направлении обоснования оптимальных параметров инициирования простейших ВВ в скважинах с помощью промежуточных детонаторов. Прежде всего стояла задача в установлении массы промежуточного детонатора, которая обеспечивала бы простейшим ВВ в скважинах оптимальный режим детонации с максимальной скоростью – D_{max} . Для решения этого вопроса был выполнен полный факторный эксперимент по исследованию скорости детонации заряда простейшего ВВ от двух параметров: диаметра заряда – d_z и относительной массы – m_o , равной отношению массы промежуточного детонатора $m_{пр}$ к общей массе заряда ANFO. Взрывания проводили в металлических трубах с толщиной стенки 2,5...3,0 мм от промежуточного детонатора из шашек прессованного до высокой плотности ($\rho_u = 1,69 \text{ г/см}^3$) тетрила массой от 10 до 40 г, инициируемых КД №8. Также были проанализированы известные данные (Горное бюро, США) по определению идеальной скорости детонации ANFO в зависимости от диаметра заряда ВВ. В результате этого анализа было сделано предположение [5], что зависимость скорости детонации ANFO от диаметра заряда и m_o можно представить в виде функции:

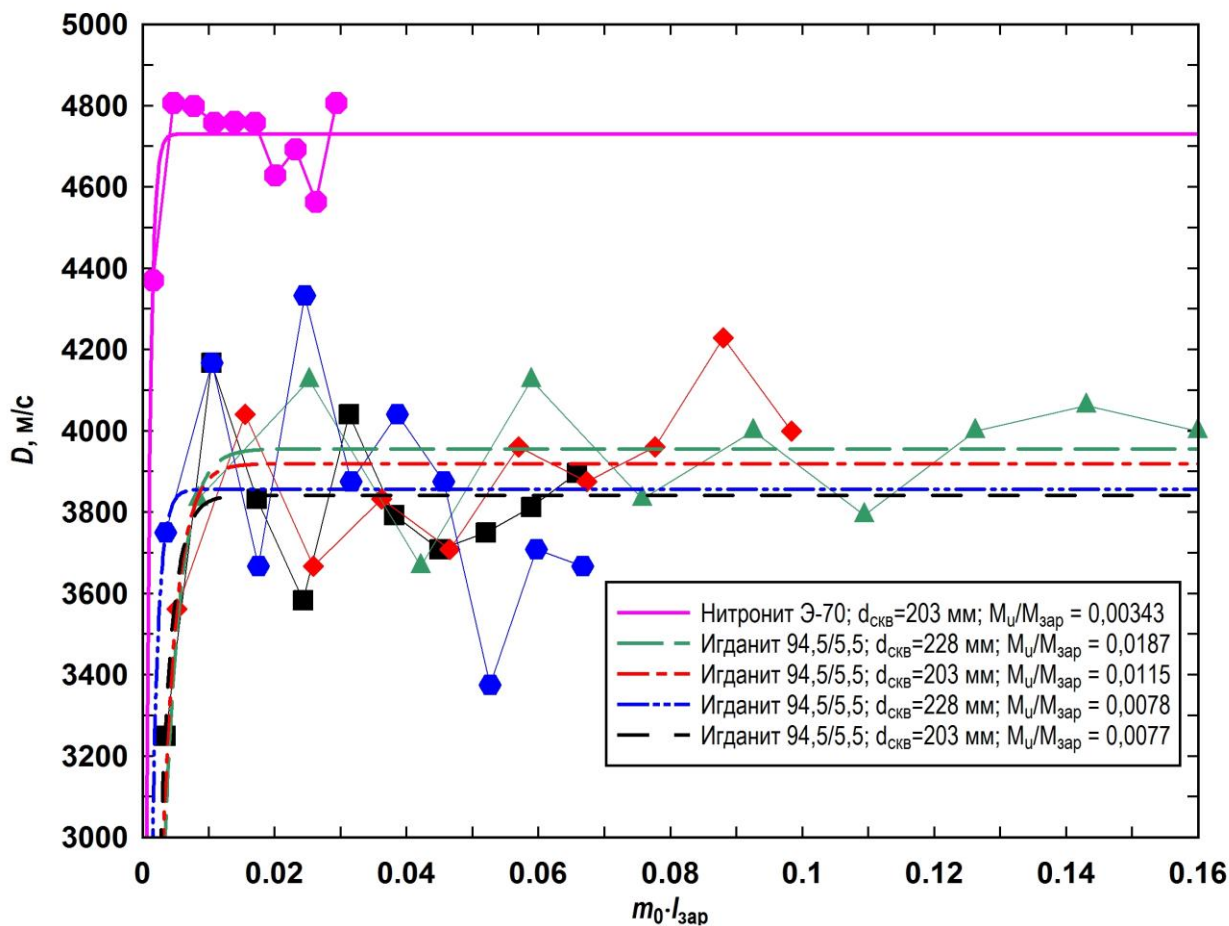


Рис. 1. Графики изменения скорости детонации ANFO и ЭВВ по длине скважины при их точечном инициировании ПД

$$D = A \cdot d_3^a \cdot m_o^b, \quad (1)$$

где A , a , b – эмпирические коэффициенты, полученные опытным путем.

Обработка результатов экспериментов позволила в работе [6] получить эмпирическое уравнение регрессии (1) в следующем виде:

$$D = 0,0707 \cdot d_3^{2,3354} \cdot m_o^{-4,205+0,8865 \ln d_3}, \text{ м/с.} \quad (2)$$

Из уравнения (2) можно найти необходимое значение m_o , задавшись D_{max} для ANFO (по данным Горного бюро США при $\rho_{BB} = 0,9 \dots 0,95 \text{ г/см}^3$, $D_{max} = 5,15 \dots 5,21 \text{ км/с}$) и диаметром заряда ВВ в скважине ($d_{скв} = d_3$):

$$m_o = \left(\frac{D_{max}}{0,0707 \cdot d_3^{2,3354}} \right)^{(0,8865 \ln d_3 - 4,205)^{-1}}. \quad (3)$$

Для скважин диаметром от 127 до 300 мм по уравнению (3) рассчитаны значения m_o , которые необходимы для промежуточного детонатора, обеспечивающего устойчивую детонацию ANFO в скважине с максимальной скоростью. Результаты расчета в виде графика зависимости $m_o = \varphi(D_{max}, d_{скв})$ представлены на рис. 2. На графике хорошо видно, что для скважин диаметром около 260 мм масса промежуточного детонатора должна быть 0,08...0,083 от массы заряда ANFO в скважине. В скважинах меньшего диаметра максимальная скорость детонации D_{max} у ANFO может быть достигнута только за счет увеличения массы промежуточных детонаторов в скважинах.

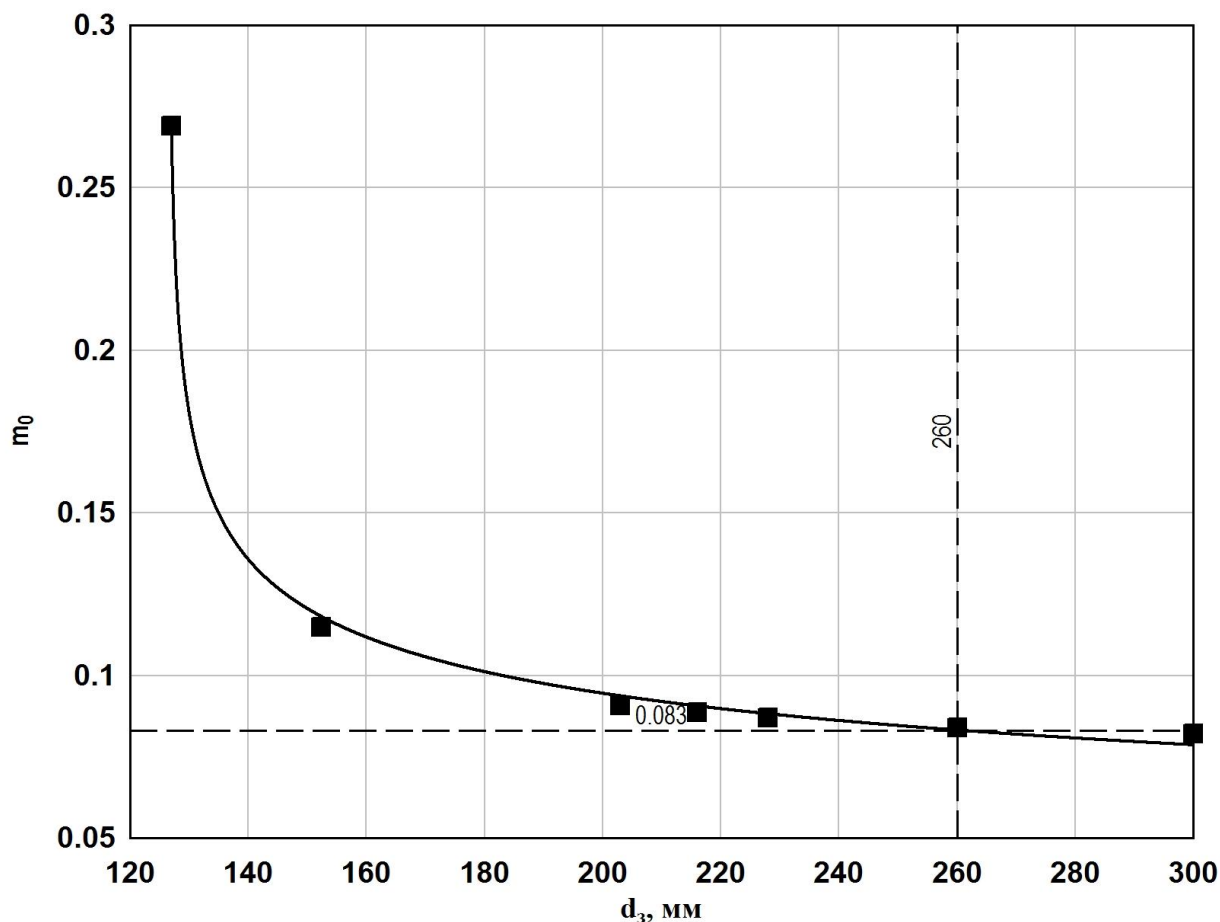


Рис.2. График зависимости $m_o = \varphi(D_{max}, d_{скв})$.

Вместе с тем принимая во внимание, что проблема инициирования скважинного заряда не решается только выбором оптимальной массы промежуточного детонатора, но и требует обеспечения полноты протекания процесса детонации простейшего ВВ по всей длине скважины с максимальной скоростью. Для этого были исследованы условия, при которых в скважинах обеспечивается полнота взрывной реакции ВВ и максимальная скорость детонации его заряда при инициировании ВВ необходимым числом промежуточных детонаторов.

Промежуточный детонатор характеризуется инициирующим действием, которое выражается как произведение силы F действия продуктов детонации ПД на простейшее ВВ со скоростью детонации – D . Это произведение представляет собой мощность детонационной волны ПД – N_D . Мощность детонационной волны ПД при инициировании им ВВ после ряда известных в теории детонации ВВ преобразований можно записать в следующем виде:

$$N_D^{ПД} = \frac{m_{np}}{L_{np}} \frac{D_u^3}{n_u + 1} K_{np}, \quad (4)$$

где L_{np} – длина промежуточного детонатора, м;
 n_u – показатель политропы продуктов детонации ВВ ПД;
 K_{np} – коэффициент преломления детонационной волны ПД при ее переходе и инициировании простейшего ВВ:

$$K_{np} = \frac{2}{1 + \frac{\rho_u D_u}{\rho_{BB} D_{BB}}}.$$

Аналогично в скважине основное ВВ при максимальной полноте детонации заряда развивает свою мощность детонационной волны N_{BB} , которая равна:

$$N_{BB} = \frac{m_{BB}}{L_{BB}} \frac{D_{BB}^3}{n_{BB} + 1}, \quad (5)$$

где m_{BB} , L_{BB} , D_{BB} , n_{BB} – аналогичные показатели как и в формуле (4) только для заряда основного простейшего ВВ.

Вполне очевидно, что полнота детонации заряда простейшего ВВ в скважине может обеспечиваться только мощным инициирующим действием продуктов детонации ПД, в результате которого у простейшего ВВ реализуется детонационный процесс по длине заряда с максимальной скоростью. Для этого необходимо, чтобы мощность инициирования ВВ ПД была достаточна для обеспечения максимальной мощности детонационной волны по заряду основного ВВ [7]:

$$N_D^{ПД} / N_{BB} \geq 1. \quad (6)$$

Тогда критическое условие (6) можно записать в следующем виде:

$$\frac{m_u}{m_{BB}} \frac{L_{BB}}{L_u} \left(\frac{D_u}{D_{BB}} \right)^3 \left(\frac{n_{BB} + 1}{n_u + 1} \right) \left(\frac{2}{1 + \frac{\rho_u D_u}{\rho_{BB} D_{BB}}} \right) = 1. \quad (7)$$

Для оптимальной массы ПД равной $m_o = \frac{m_u}{m_{BB}} = 0,083$, полученной для ANFO в работе [6], установим участок длины скважинного заряда, в котором имеет место режим детонации простейшего ВВ с максимальной скоростью и максимальным выделением энергии взрыва. Подставим в уравнение (7), определяющее критическое условие полноты процесса детонации основного ВВ в скважине, данные для ANFO и промежуточного детонатора :

$$0.083 \frac{L_{BB}}{L_u} \left(\frac{7600}{5150} \right)^3 \left(\frac{2+1}{3+1} \right) \left(\frac{2}{1 + \frac{1.69 * 7600}{0.9 * 5150}} \right) = 1.$$

Решая это уравнение, находим участок в основном заряде простейшего ВВ на котором осуществляется режим детонации с максимальной скоростью в зависимости от длины инициатора ПД:

$$L_{\text{вв}} = 9,8 L_u.$$

Таким образом установили, что при оптимальной массе промежуточного детонатора режим максимальной скорости детонации у простейшего ВВ и полноты выделения им энергии взрыва можно обеспечить только на участке скважинного заряда длиной не более $L_{\text{вв}} = 9,8 L_u$. Этот результат указывает на необходимость выбора параметров ПД и их числа в скважине в зависимости от полной длины основного скважинного заряда простейшего ВВ, его детонационных параметров и детонационных параметров ВВ, применяемого для промежуточного детонатора. Тогда необходимое число промежуточных детонаторов для основного скважинного заряда длиной $L_{\text{зар}}$ в зависимости от параметров инициатора определяется по формуле:

$$L_{\text{зар}}/L_{\text{вв}} = N_{\text{нд}}.$$

ВЫВОДЫ.

1. Для простейших ВВ типа ANFO установили величину оптимальной массы ВВ промежуточного детонатора в скважинном заряде при которой в простейшем ВВ инициируется детонационная волна с максимальной скоростью детонации.

2. Установили, что при оптимальной массе промежуточного детонатора из мощных бризантных ВВ режим детонации простейшего ВВ с максимальной скоростью можно обеспечить только на участке скважинного заряда длиной не более $L_{\text{вв}} = 9,8 L_u$. При большей длине скважинного заряда необходимо применение нескольких ПД.

Дальнейшие исследования необходимо проводить в направлении разработки новых конструкций ПД из ВВ, не содержащих бризантных ВВ, но параметры детонации которых превосходят детонационные параметры простейших ВВ для скважинных зарядов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ефремов Э.И. Пути повышения эффективности взрывчатых веществ простейшего состава / Э.И. Ефремов // Вісник КТУ. Вип. 23. – Київ, 2009. – С. 10-14.
2. Кутузов Б.Н. Перспективы совершенствования ассортимента промышленных ВВ для карьеров / Б.Н. Кутузов // Горный журнал. – М., 1996. - № 9-10. – С. 39-43.
3. Барон В.Л. Техника и технология взрывных работ в США / В.Л. Барон, В.Х. Кантор. – М.: Недра, 1989. – 375 с.
4. Добрынин И.А. Обоснование параметров промежуточных детонаторов в скважинных зарядах для повышения эффективности дробления горных пород: автореферат дисс. на соиск. научн. степени канд. техн. наук: спец. 25.00.20 «Геомеханика, разрушение горных пород и горная теплофизика» / И.А. Добрынин. – М., 2010. – 20 с.
5. Андреев К.К. Теория взрывчатых веществ / К.К. Андреев, А.Ф. Беляев. – М.: Оборонгиз, 1960. – 595 с.
6. Калякин С.А. Совершенствование простейших ВВ и способов их инициирования в скважинах / С. А. Калякин. – Информационный бюллетень УСИБ № 2, 2011. – С 7 – 12.
7. Калякин С. А. Критические условия инициирования взрыва метановоздушной смеси открытым зарядом взрывчатого вещества / С. А. Калякин // Взрывное дело. – М.: ЗАО «МВК по взрывному делу». – 2007. – Вып. № 97 / 54. – С. 170 – 181.

REFERENCES

1. Efremov E.I. The ways of effectiveness' rising of the simplest explosives / E.I. Efremov // Visnyk KTU. Iss. 23. – Kyiv, 2009. – P. 10-14.
2. Kutuzov B.N. Perspectives of improvement of assortment of industrial explosives for pits / B.N. Kutuzov // Mine magazine. – M., 1996. - № 9-10. – P. 39-43.
3. Baron V.L. Technique and technology of explosive works in / V.L. Baron, V.H. Kantor. – M.: Nedra, 1989. – 375 p.
4. Dobrynin I.A. Grounding of the parameters of intermediate detonators in well-charges for the rising of effectiveness of the rocks crushing: synopsis diss. Of candidate of sciences: spet. 25.00.20 «Geomechanics, breaking of mine rocks and mine and thermal physics» / I.A. Dobrynin. – M., 2010. – 20 p.
5. Andreyev K.K. Theory of explosives / K.K. Andreev, A.F. Belayev. – M.: Oborongiz, 1960. – 595 p.
6. Kalyakin S.A. Improvement of the simpliest explosives and the ways of their initiation in wells / S.A. Kalyakin. – Information bulletin. USIV № 2, 2011. – P 7 – 12.
7. Kalyakin S.A. Critical conditions of initiation of explosion of methane-air mixture with the open charge / S.A. Kalyakin // Explosive work. – M.: ZAO «MVK in explosive work». – 2007. – Iss. № 97 / 54. – P. 170 – 181.

GROUNDING OF QUANTITY OF INTERMEDIATE DETONATORS FOR THE INITIATION OF WELL-CHARGES OF EXPLOSIVES

S. Kalyakin

Donetsk State Technical University
Artyoma str., 58, 83001, Donetsk, Ukraine.

E-mail: yglenit@gmail.com

V. Prokopenko

ZAO «Tekhnovzryv»
Svetlitskogo str., 35, 04208, Kyiv, Ukraine.

The method of definition of needed quantity of intermediate detonators in wells for the reliable initiation of the well-charge is proposed in this article. The method is based on the consideration of critical conditions of initiating of the well-charge when the detonation regime is achieving by the maximal speed and completeness of energy ejection of explosives. This can be attained only by specific correlations of masses and length's of initiator and the main charge of explosives. The critical conditions of initiating that are necessary for stimulation of maximal speed of detonation with the help of the intermediate detonator for the simplest explosives such as ANFO.

Keywords: well-charge, the intermediate detonator, explosives, the speed of detonation, the power of detonation wave, initiating ability.

ОБГРУНТУВАННЯ КІЛЬКОСТІ ПРОМІЖНИХ ДЕТОНАТОРІВ ДЛЯ ІНІЦІЮВАННЯ СВЕРДЛОВИННИХ ЗАРЯДІВ ВР

С.О. Калякін

Донецький національний технічний університет
вул. Артема, 58, 83001, м. Донецьк, Україна.

E-mail: yglenit@gmail.com

В.С. Прокопенко

ЗАТ «Техновибух»
вул. Светлицького, 35, 04208, м. Київ, Україна.

У статті запропонований засіб визначення необхідної кількості проміжних детонаторів (ПД) в свердловинах для надійного ініціювання свердловинного заряду. Він заснований на розгляданні критичних умов ініціювання свердловинного заряду, при яких досягається режим детонації з максимальною швидкістю та повнотою виділення енергії зарядом ВР. Це може бути досягнуто тільки при певних співвідношеннях мас зарядів та довжин зарядів ініціатору та основного заряду ВР. Отримані критичні умови ініціювання, необхідні для збудження максимальної швидкості детонації у найпростіших ВР типу ANFO проміжним детонатором.

Ключові слова: свердловинний заряд, проміжний детонатор, вибухова речовина, швидкість детонації, потужність детонаційної хвилі, ініціююча здатність.