

УДК 622.235.43:622.235.431.34

О ЛИНЕЙНОМ ИНИЦИИРОВАНИИ ЗАРЯДОВ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

С. А. Калякин

Донецкий национальный технический университет
ул. Артема, 58, 83001, г. Донецк, Украина. E-mail: yglenit@gmail.com

В. С. Прокопенко

ЧАО «Экспериментальная технология взрывных работ»
ул. Салютная, д. 13, 044111, г. Киев, Украина.

Рассмотрены проблемы инициирования зарядов простейших взрывчатых веществ промежуточными детонаторами. Установили, что линейное инициирование основного заряда взрывчатых веществ с помощью линейного инициатора гораздо более эффективно, чем его точечное инициирование. При этом значительно повышается разрушающее действие взрыва взрывчатых веществ на горные породы и устойчивость детонации скважинного заряда. Установлены параметры линейного инициатора и необходимые показатели взрывчатых веществ для осуществления линейного инициирования

Ключевые слова: линейное инициирование, скорость детонации взрывчатых веществ, скважинный заряд, импульс взрыва, линейный инициатор.

ПРО ЛІНІЙНЕ ІНІЦІЮВАННЯ ЗАРЯДІВ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН

С. О. Калякін

Донецький національний технічний університет
вул. Артема, 58, 83001, м. Донецьк, Україна. E-mail: yglenit@gmail.com

В. С. Прокопенко

ПАТ «Експериментальна технологія вибухових робіт»
вул. Салютна, буд. 13, 044111, м. Київ, Україна.

Розглянуті проблеми ініціювання зарядів вибухових речовин проміжними детонаторами. Встановили, що ініціювання основного заряду за допомогою лінійного ініціатору набагато більш ефективно ніж точкове ініціювання. При цьому значно підвищується руйнуюча дія вибуху на гірські породи та стійкість детонації свердловинного заряду. Встановлено параметри лінійного ініціатору та необхідні показники вибухових речовин для здійснення лінійного ініціювання.

Ключові слова: лінійне ініціювання, швидкість детонації вибухових речовин, свердловинний заряд, імпульс вибуху, лінійний ініціатор.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. На открытых горных породах наибольший объем применения имеют эмульсионные взрывчатые вещества (ВВ) и ВВ простейшего состава на основе смеси аммиачной селитры с горючими компонентами различного вида. Для инициирования зарядов этих ВВ используются детонирующие шпурсы (ДШ) и шашки промежуточных детонаторов (ПД) из бризантных ВВ – тротила и смеси тротил–гексоген (ТГ). В связи с высокой стоимостью ПД и ДШ для того, чтобы снизить затраты на инициирование зарядов ВВ, неоднократно делались и делаются попытки перейти на другие средства инициирования скважинных зарядов ВВ.

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Анализ последних исследований и публикаций показал, что в ряде случаев можно применять в качестве средств инициирования скважинных зарядов патроны промышленных ВВ, чувствительных к капсулю-детонатору – аммонит № БЖВ, детонит М, аммонал скальный № 1. Однако эти ВВ обладают невысокой водостойкостью и требуют патронирования в водонепроницаемые оболочки.

В последние годы нашли широкое применение скважинные заряды ВВ в полиэтиленовых рукавах [1]. Полученные новые типы ВВ на основе жидких уплотняющих компонентов, которые позволяют получать водостойкие ВВ, обладающие высокой скоростью детонации и энергией взрыва. Учитывая это, можно перейти на инициирование скважинных зарядов, зарядами ВВ в рукавах, проложенных вдоль основного заряда ВВ. В этом случае происходит линейное инициирование основного заряда от заряда ВВ детонирующего в рукаве. В этом случае осуществляется оптимальный режим инициирования заряда ВВ по всей длине скважины. Кроме того, повышается скорость детонации основного заряда ВВ и можно отказаться от дорогих ПД на основе тротила и гексогена.

Целью работы является исследование линейного инициирования заряда ВВ и обоснование эффективных параметров инициатора, обеспечивающего максимальный взрывной эффект скважинного заряда.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Линейное инициирование удлиненного заряда ВВ характеризуется некоторыми отличиями от точечного инициирования заряда боевиком или ПД, которое дает выраженный пульсирующий режим детонации ВВ по длине заряда (рис. 1). Отличия связаны с тем, что линейный инициатор имеет длину равную длине основного заряда, а скорость его детонации значительно выше, чем у ВВ основного заряда. В связи с этим, если при точечном инициировании в заряде ВВ на расстоянии $2...4d_3$ (d_3 – диаметр заряда) устанавливается слабо искривленный фронт детонационной волны, движущейся со скоростью детонации, характерной для ВВ $D_{ВВ}$, то при линейном инициировании формируется криволинейный фронт детонационной волны, скорость распространения которого зависит не только от скорости детонации ВВ, но и скорости детонации ВВ линейного инициатора (рис. 2). Следовательно можно установить, что при точечном инициировании заряда давление продуктов детонации в скважине определяется только плотностью ВВ – ρ и его скоростью детонации:

$$P_1 = P_n = \frac{\rho D^2}{n+1}, \quad (1)$$

а при линейном не только от параметров основного заряда ВВ ρ и D , но и скорости детонации ВВ линейного инициатора D_n и угла отражения – φ детонационной волны (ДВ) от стенок скважины. Систематическое изучение процессов распространения и отражения ударных волн до настоящего времени не дало полной аналитической теории нерегулярного отражения детонационной волны от жесткой стенки. Вместе с тем в работе [2] показано, что возрастание давления P на жесткой стенке при косом отражении ДВ с массовой скорости потока за фронтом детонационной волны и углом – φ между жесткой поверхностью и фронтом падающей ДВ можно определить.

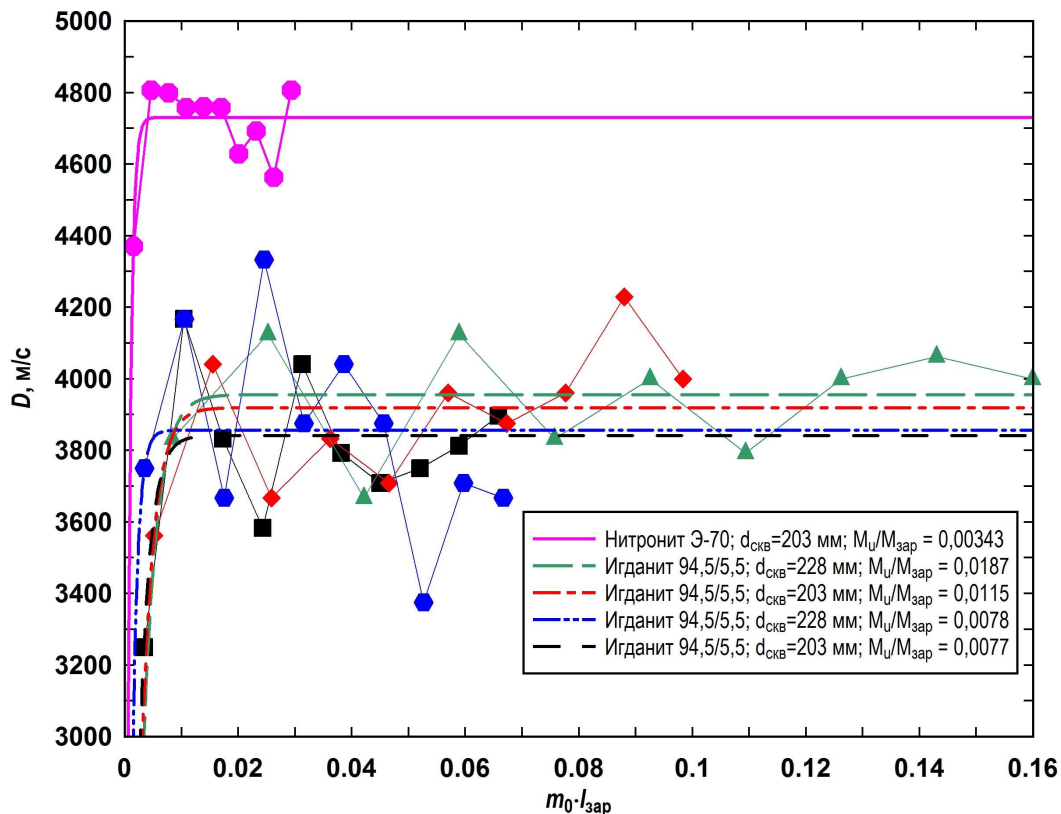


Рисунок 1 – Графіки изменения скорости детонации ANFO и ЭВВ по длине скважины при их точечном инициировании ПД

Если избыточное давление, плотность и массовая скорость на фронте падающей ДВ, определяется с помощью известных уравнений физики взрыва [3], то при отражении от жесткой стенки давление в отраженной волне можно найти из выражения:

$$\frac{P_{om}}{P_H} = 1 + \cos \varphi + \frac{n+1}{4 \cdot n} \cdot \cos^2 \varphi + \frac{1}{2} \left(\frac{n+1}{4 \cdot n} \right)^2 \cdot \cos^3 \varphi, \quad (2)$$

где n – показатель политропы продуктов детонации ВВ.

При линейном инициировании скорость детонации ВВ основного заряда зависит от скорости детонации ВВ линейного инициатора – $D_{и}$:

$$D_{ВВ}^1 = D_{и} \cdot \cos \varphi.$$

Очевидно, что угол φ , определяющий наклон действия ДВ при ее инициировании в заряде ВВ равен углу, с которым происходит отражение волны от стенки скважины, тогда давление в отраженной волне равно:

$$P_{om}^1 = \frac{\rho D_{и}^2 \cdot \cos^2 \varphi}{n+1} \left[1 + \cos \varphi + \frac{n+1}{4 \cdot n} \cdot \cos^2 \varphi + \frac{1}{2} \left(\frac{n+1}{4 \cdot n} \right)^2 \cdot \cos^3 \varphi \right]. \quad (3)$$

При условии, если $D_{и} > D_{ВВ}$, то окажется, что давление на стенки скважины при линейном инициировании заряда ВВ будет значительно больше, чем при то-

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ
РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

чечном инициировании: $P_{от} > P_1$. Соответственно возрастает разрушающее действие взрыва скважинного заряда при линейном инициировании ВВ. Если принять объем разрушения пород скважинным зарядом при линейном инициировании – V_2 , то окажется, что его соотношение с точечным инициированием будет равно:

$$\frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{P_{от}^1}{P_1} \right)^{\frac{1}{n}}. \quad (4)$$

Подставив в уравнение (4) уравнения (1) и (3) окончательно получим:

$$\frac{V_2}{V_1} = \left\{ \left(\frac{D_u \cdot \cos \varphi}{D_{ВВ}} \right)^2 \left[1 + \cos \varphi + \frac{n+1}{4 \cdot n} \cdot \cos^2 \varphi + \frac{1}{2} \left(\frac{n+1}{4 \cdot n} \right)^2 \cdot \cos^3 \varphi \right] \right\}^{\frac{1}{n}}. \quad (5)$$

По уравнению (5) для значений $D_u = 6000$ м/с, $\varphi = 15^\circ$, $D_{ВВ} = 5150$ м/с и $n = 2,1$ получим, что $V_2 > V_1$, в 1,7 раза. Достаточно существенное увеличение разрушающего действия взрыва заряда ВВ. Поэтому необходимо исследовать и определить основные параметры линейного инициирования зарядов ВВ.

Будем характеризовать инициирующую способность линейного инициатора (ЛИ) с помощью его импульса взрыва – J_u как известно равного:

$$J_u = m_u \cdot D_u, \quad (6)$$

где m_u – масса ВВ линейного инициатора.

Импульс взрыва основного заряда ВВ, инициируемого ЛИ равен:

$$J_{ВВ} = M_{ВВ} \cdot D_{ВВ}, \quad (7)$$

где $M_{ВВ}$ – масса ВВ основного заряда.

На практике достаточность инициирующего импульса инициатора для основного заряда ВВ определяют через массу инициатора. Находят массу инициатора, при взрыве которой в основном заряде в нем устанавливается процесс устойчивой детонации ВВ. Тогда:

$$\frac{m_u}{M_{ВВ}} = K_u. \quad (8)$$

Предположим, что K_u – коэффициент, определяющий инициирующую способность инициатора определяется так же импульсами взрыва зарядов обеих ВВ с учетом их скорости детонации и плотности ВВ:

$$\frac{J(D_u)}{J(D_{ВВ})} = K_u. \quad (9)$$

Однако скорость детонации основного ВВ зависит от диаметра заряда и плотности патронирования ВВ, тогда:

$$\frac{\ell_u \cdot d_u^2 \cdot D_u \cdot \rho_u}{\ell_{ВВ} \cdot d_{ВВ}^2 \cdot D_{ВВ} \cdot \rho_{ВВ}} = K_u. \quad (10)$$

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ
РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Для линейного инициатора вполне очевидно, что $\ell_u = \ell_{BB}$, следовательно:

$$\left(\frac{d_u}{d_{BB}}\right)^2 \cdot \left(\frac{\rho_u}{\rho_{BB}}\right) \cdot \left(\frac{D_u}{D_{BB}}\right) = K_u$$

или

$$d_u = d_{BB} \sqrt{\frac{K_u \cdot \rho_{BB} \cdot D_{BB}}{\rho_u \cdot D_u}},$$

то есть

$$d_u = d_{BB} \cdot K_u^{0,5} \cdot \left(\frac{\rho_{BB}}{\rho_u}\right)^{0,5} \cdot \left(\frac{D_{BB}}{D_u}\right)^{0,5}, \text{ мм.} \quad (11)$$

Таким образом, получено уравнение (11), которое позволяет определить параметры линейного инициирования, если известны величины для основного заряда d_{BB} , ρ_{BB} , D_{BB} , линейного инициатора ρ_u , D_u и коэффициент K_u . Данный коэффициент можно определить только экспериментально. Для этого используя работу [4] были установлены коэффициенты K_u при инициировании скважинных зарядов игданита (ВВ типа ANFO) и эмульсионного ВВ типа нитронит Э-70, ПД изготовленных из аммонита № 6ЖВ и насыпного или прессованного тротила, различной массы. По данным этой работы было установлено, что для зарядов массой 260...320 кг игданита устойчивая детонация скважинного заряда ($D_{cp} = 4100$ м/с) достигается при $K_u = 0,0187$, а для ЭВВ, сенсibilизированного микро-сферами и газонаполнением $K_u = 0,00343$, при этом средняя скорость детонации заряда $D_{cp} = 4700$ м/с (рис. 2).

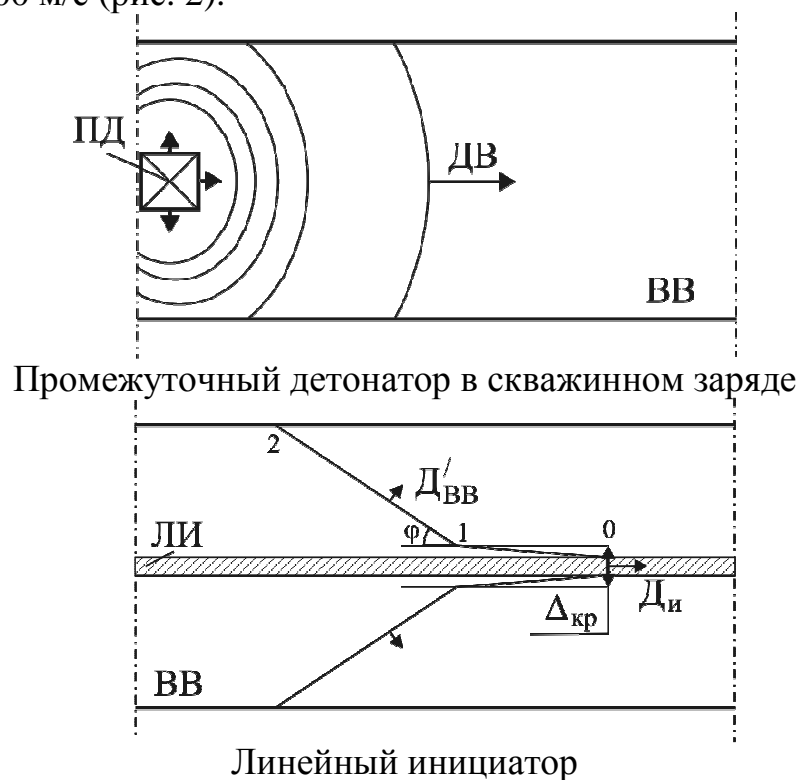


Рисунок 2 – Распространение детонации скважинном заряде при промежуточном детонаторе и линейном инициаторе

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Таким образом, по уравнению (11) можно определить параметры ЛИ, если известны параметры детонации ВВ ЛИ и основные параметры скважинного заряда ВВ. Например, ВВ линейного инициатора имеет $\rho = 1,3 \text{ г/см}^3$ и скорость детонации $D_{\text{и}} = 6000 \text{ м/с}$, а основной заряд игданита при зарядании в скважину $d_{\text{скв}} = 228 \text{ мм}$, имеет $\rho_{\text{ВВ}} = 0,95 \text{ г/см}^3$ и скорость детонации $D_{\text{ВВ}} = 4100 \text{ м/с}$, то можно установить необходимый диаметр линейного инициатора для обеспечения эффективного взрывного действия в скважине основного заряда ВВ:

$$d_{\text{и}} = 228 \cdot 0,01875^{0,5} \cdot \left(\frac{0,95}{1,3}\right)^{0,5} \cdot \left(\frac{4100}{6000}\right)^{0,5} = 22 \text{ мм.}$$

Таким образом, диаметр ЛИ $d_{\text{и}} = 22 \text{ мм}$, а $\ell_{\text{и}} = \ell_{\text{зар}}$. При таких параметрах линейного иницирования заряда ВВ в скважине его действие взрыва увеличивается в 1,7 раза.

ВЫВОДЫ. 1. Установили, что при линейном иницировании скважинных зарядов простейших ВВ увеличивается действие взрыва на стенки скважины и возрастает эффективность разрушения пород этими ВВ примерно в 1,7 раза.

2. Установили параметры линейного инициатора для надежного иницирования скважинных зарядов из простейших (типа ANFO) и эмульсионных ВВ, которые обеспечивают устойчивую с высокой скоростью детонацию ВВ в скважине.

3. Дальнейшие работы необходимо проводить в направлении разработки безопасных и дешевых ВВ для ЛИ и организации их производства на местах ведения взрывных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прокопенко В.С. Разрушение горных пород скважинными зарядами взрывчатых веществ в рукавах. – Киев: НТУУ «КПИ», 2010. – 205 с.
2. Ударные и детонационные волны. Методы и исследования / Кобылкин И.Ф., Селиванов В.В., Соловьев В.С., Сысоев Н.Н. – М.: Физматлит, 2004. – 375 с.
3. Орленко Л.П. Физика взрыва и удара. – М.: Физматлит, 2008. – 303 с.
4. Добрынин И.А. Обоснование параметров промежуточных детонаторов в скважинных зарядах для повышения эффективности дробления горных пород: автореф. дис. на соиск. научн. степени канд. техн. наук: спец. 25.00.20 / И.А. Добрынин. – М., 2010. – 20 с.

ABOUT LINEAR INITIATION OF EXPLOSIVE CHARGES

S. Kalyakin

Donetsk state technical university

vul. Artyoma 58, 83001, Donetsk, Ukraine. E-mail: yglenit@gmail.com

V. Prokopenko

PSC «Experimental technology of explosive works»

vul. Salutnaya, 13, 044111, Kyiv, Ukraine.

The problema of initiation of explosive charges with intermediate detonators are shown in this work. It is determined, that the initiation of the main charge with the help of linear initiator more effective that the local initiation. The crushing effect of explosion to the mine rocks and detonation stability of well-charge are rising during the using of linear initiators. The parameters of linear initiator and necessary parameters of explosives for the linear initiation was determined.

Key words: linear initiation, velocity of explosives' detonation, well charge, impulse of explosion, linear initiator.

REFERENCES

1. Prokopenko V.S. Destroying of mine rocks with the well charges in the levees. – Kiev: NTTU «KPI», 2010. – 205 p. [in Russian]
2. Shock and detonation waves. Methods and researching / Kobylkin I.F., Selivanov V.V., Solovyev V.S., Sysoyev N.N. – M.: Fizmatlit, 2004. – 375 p. [in Russian]
3. Orlenko L.P. Physics of explosion and impact. – M.: Fizmatlit, 2008. – 303 p. [in Russian]
4. Dobrynin I.A. Grounding of the parameters of intermediate detonators in well charges for the rising of the effectiveness of crushing of mine rocks: synopsis of diss. For the candidate of tech. science: spet. 25.00.20 / I.A. Dobrynin. – M., 2010. – 20 p. [in Russian]

Стаття надійшла 15.05.2013.

УДК 622.235

ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛА ПРОСЛОЙКИ ПОД НАКЛАДНЫМ ЗАРЯДОМ НА ИЗМЕНЕНИЕ АМПЛИТУДЫ ВОЛНЫ НАПРЯЖЕНИЙ В ТВЕРДОЙ СРЕДЕ

В. Н. Долударев

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: tehm@kdu.edu.ua

При взрывной отбойке нерудных полезных ископаемых переизмельчение породы является нежелательным так же, как и выход негабаритных фракций, потому что уменьшает количество кондиционной товарной продукции. Одним из способов снижения переизмельчения среды в ближней к заряду зоне является уменьшение пика давления в зарядной полости за счет размещения на границе раздела взрывчатого вещества с нагружаемой средой различных инертных и энергоактивных материалов. Для сравнительной оценки амплитуды волны напряжений в среде при взрыве накладных зарядов с расположенными под ними прослойками из различных материалов в лабораторных условиях проведена серия экспериментов, результаты которых позволили оценить эффективность применения разных прослоек для снижения бризантного воздействия взрывчатых веществ на нагружаемую среду.

Ключевые слова: амплитуда волны напряжений, пьезокерамический датчик, осциллограмма, бризантное воздействие.