

## ГЕОТЕХНОЛОГІЯ

УДК 552.678.742.2

DOI: 10.20535/2079-5688.2017.32.90695

**Р.В. Закусило**, к.т.н., **В.Р. Закусило**, к.т.н., с.н.с. (Шосткинський інститут Сумського державного університету)

**ВЛИЯНИЕ КОНИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ  
ДЕТОНАТОРОВ НА ИХ ИНИЦИИРУЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ**

**R.V. Zakusilo, V.R. Zakusilo** (Shostka Institute of Sumy State University)

**THE IMPACT OF CONICAL SHAPED INTERMEDIATE DETONATORS  
ON THEIR INITIATING ABILITY**

*Рассмотрено влияние формы промежуточных детонаторов на их инициирующую способность. Установлено, что применение усеченной конической формы промежуточных детонаторов с углом конусности от  $15^\circ$  до  $45^\circ$  способствует концентрации импульса детонационной волны вдоль его оси. Это позволит применять в конических промежуточных детонаторах составы на основе аммиачной селитры с нитрометаном с низкими энергетическими характеристиками. С целью увеличения безопасности такие составы предлагается изготавливать на местах проведения взрывных работ.*

**Ключевые слова:** промежуточные детонаторы; детонационная волна; инициирующая способность; коническая форма.

*Досліджено вплив форми проміжних детонаторів на їх ініціюючу здатність. Встановлено, що використання усіченої конусної форми проміжних детонаторів з кутом конусності від  $15^\circ$  до  $45^\circ$  сприяє концентрації детонаційної хвилі уздовж його осі. Це дозволить використовувати в конічних проміжних детонаторах склади на основі аміачної селітри і нітрометану з низькими енергетичними характеристиками. З ціллю забезпечення безпеки такі склади пропонується виготовляти на місцях проведення вибухових робіт.*

**Ключові слова:** проміжні детонатори; детонаційна хвиля; ініціююча здатність; конічна форма.

*The article presets the results of investigations the impact of conical shaped intermediate detonators on their initiating ability. It is found that the use of truncated conical shaped intermediate detonators with a taper angle  $15^\circ$  to  $45^\circ$  contributes concentration pulse detonation wave along its axis. This will apply in conical intermediate detonators compositions based on ammonium nitrate and nitromethane low power characteristics. In order to increase safety, such compositions are invited to make on-site blasting.*

**Keywords:** intermediate detonators; detonation wave; initiating ability; conical shape.

**Введение.** В настоящее время для инициирования скважинных зарядов применяют промежуточные детонаторы (ПД) сосредоточенной цилиндрической или прямоугольной формы на основе тротила, например пашки Т-400Г со скоростью детонации 6,9 км/с [1]. Такие ПД изготавливают

путем прессования тротила в пресс-формах. Их работоспособность зависит от плотности, что достигается условиями прессования. При срабатывании цилиндрического сосредоточенного заряда силовые линии детонационной волны (ДВ) распространяется перпендикулярно боковой образующей и вдоль оси заряда. Усилия ДВ вдоль оси заряда ПД не достаточно для выхода скважинного заряда на стационарный режим детонации в непосредственной близости от инициатора. В этом случае фронт детонационной волны устанавливается в скважинном заряде со скоростью детонации, характерной для указанного заряда, на расстоянии двух-четырех диаметров заряда [2].

С разработкой новых взрывчатых составов, например эмульсионных со скоростью детонации 5,1 км/с, начали изготавливать более мощные промежуточные детонаторы, например, тротил-гексогеновые ТГ-500, ТГФ-500Э, тротил-пентолитовые ПТН и др. [1]. Улучшение характеристик ПД проводили за счет увеличения мощности применяемых составов, т.е. перехода от тротила к гексогену, ТЭНу и увеличения их массы. Мощность применяемых промежуточных детонаторов выше мощности иницируемого скважинного заряда, т.е. инициирование скважинных зарядов происходит в режиме пересжатой детонации.

Для повышения эффективности взрывания простейших взрывчатых веществ предложено использовать более мощные линейные промежуточные детонаторы, содержащие 100-200 г ВВ на один линейный метр ПД [2]. Линейный инициатор имеет длину равную длине основного заряда, при этом фронт детонационной волны направлен к стенкам скважины. Давление детонационной волны на стенки скважины будет значительно больше, чем при точечном инициировании. Если при точечном инициировании заряда давление продуктов детонации определяется только плотностью ВВ  $\rho$  и его скоростью детонации  $D$ :

$$P = \frac{\rho D^2}{n+1},$$

то при линейном инициировании не только от параметров основного заряда  $\rho$  и  $D$ , но и от скорости детонации линейного инициатора  $D_{и}$  и от угла отражения детонационной волны от стенок скважины. К сожалению, применение линейных инициаторов ограничивается как техническими, так и экономическими условиями.

В настоящее время практически нет работ по влиянию конструкции промежуточных детонаторов на инициирующую способность скважинных зарядов и исследованию составов для ПД с невысокой мощностью.

**Цель работы.** Исследование инициирующей способности промежуточных детонаторов конической формы с безопасной рецептурой взрывчатого вещества, изготавливаемой на местах проведения взрывных работ. Установление минимального количества взрывчатого состава для новых ПД, обеспечивающих надежное инициирование скважинных зарядов любой мощности.

**Результаты исследований.** Нами проведены исследования по влиянию конструкции ПД на их инициирующую способность скважинных зарядов.

Рассмотрены усеченные конические конструкции ПД с углом конусности от  $15^\circ$  до  $45^\circ$  с переходом в цилиндрическую форму в усеченной части. Схема конического заряда представлена на рис. 1.

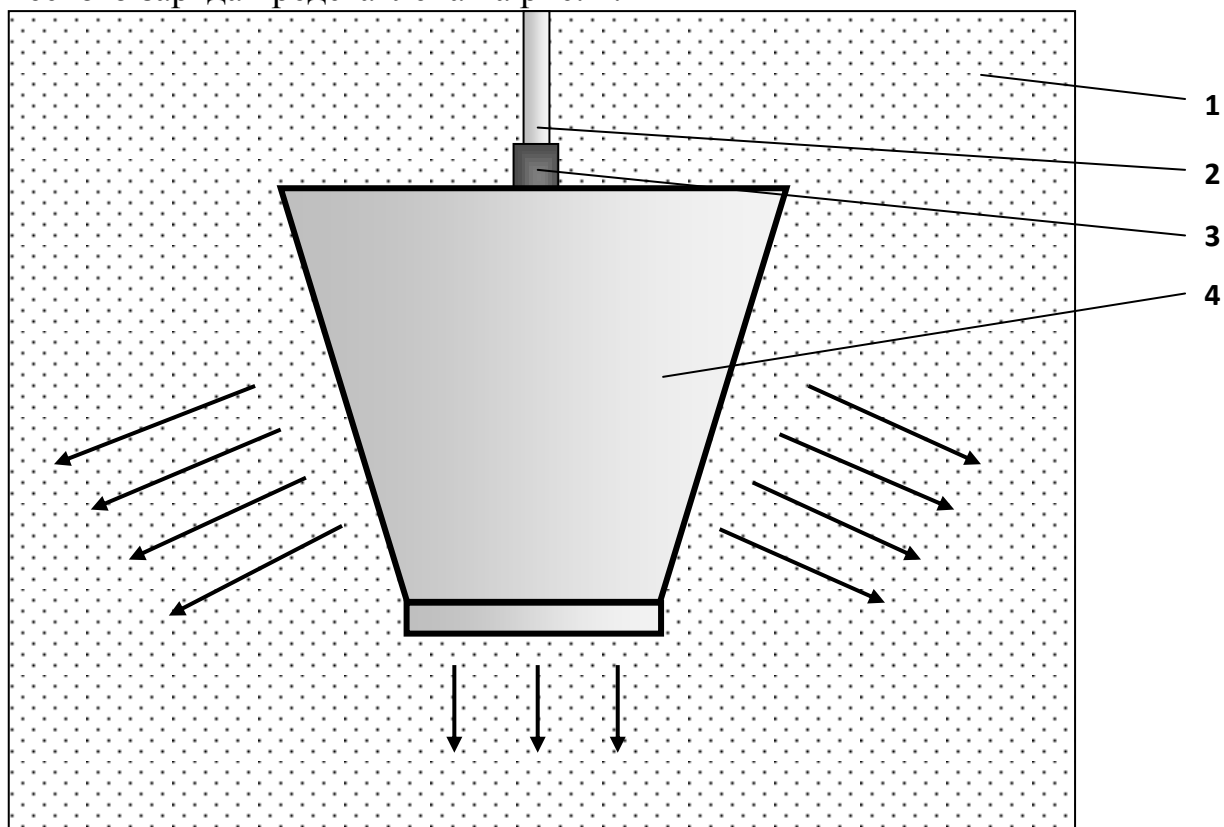


Рис. 1. Конический промежуточный детонатор в скважине:  
1 – скважинный заряд; 2 – детонирующий волновод; 3 – капсюль-детонатор; 4 – конический ПД

В конусном заряде при инициировании с широкой торцевой части детонационная волна распространяется перпендикулярно к боковым образующим конуса, то есть ее направление практически перпендикулярно углу боковой поверхности конуса ПД. Это создает повышенное давление между боковой поверхностью конусного заряда ПД и стенкой скважины подрываемого заряда. Силовые линии детонационной волны, сужаясь от угла конуса ПД, охватывают весь столбик подрываемого заряда, ограниченного стенкой скважины. Это позволяет сконцентрировать импульс детонационной волны промежуточного детонатора по всему сечению скважинного заряда вдоль его оси. При увеличении угла конусности диаметр ПД приближается к диаметру инициированного взрывчатого вещества скважинного заряда, что способствует инициированию всего диаметра заряда. Силовые линии детонационной волны, фокусируясь вдоль оси ПД и пристеночного заряда, охватывают всю его площадь и подобно силовым линиям кумулятивного заряда создают повышенное давление. Таким образом, вся энергия инициирующего взрывчатого вещества переходит в рабочее ВВ и не выходит за пределы его объема.

При испытаниях конусных зарядов на металлических пластинах установлено, что детонационная волна оставляет вмятину шириной примерно

равной нижней цилиндрической части конусного ПД, находящейся в непосредственном соприкосновении с пластиной. Вокруг этой вмятины наблюдается дополнительное повреждение пластины равной диаметру широкой конусной части ПД, передающееся по воздушному пространству. Таким образом, конструкция промежуточного детонатора обеспечивает повышенную иницирующую энергию при взрыве вдоль оси скважинного заряда.

Для подтверждения этого заключения проведены испытания заряда гранулита 79/21 насыпной плотности диаметром 80 мм и длиной 600 мм. Заряды инициировали электродетонатором ЭД-8 совместно с промежуточными детонаторами: штатным ТГ- 400Г и конусным ПД с углом конусности 25° массой 200 г. Замер скорости детонации осуществляли методом Дотриша на расстоянии 100 мм от ПД и на расстоянии 500 мм от ПД. База измерения во всех случаях составляла 120 мм. При применении штатного ПД Т-400Г со скоростью детонации 5,8 м/с инициирование проходило в режиме пересжатой детонации (скорость детонации гранулита 79/21 насыпной плотности 3,75 км/с). При применении конусного ПД в качестве иницирующего заряда был использован состав на основе аммиачной селитры с нитрометаном в соотношении 85:15. Термодинамические характеристики составов на основе аммиачной селитры и нитрометана приведены в табл. 1.

Таблица 1

Термодинамические характеристики составов аммиачной селитры с нитрометаном

Наименование показателей	Состав аммиачная селитра: нитрометан, %		
	80:20	85:15	90:10
Кислородный баланс, %	+8,14	+11,10	+14,07
Теплота взрыва, ккал/кг	880	717	601
Объем газов, л/кг	949	958	963
Критический диаметр детонации, мм	5-6	6-7	7-8
Скорость детонации, км/с	3370	2985	2370

Из таблицы следует, что скорость детонации конусного заряда ПД аммиачная селитра-нитрометан (АС-НМ) в соотношении 85:15 составляет до 2985 м/с. Таким образом, инициирование заряда гранулита 79/21 коническим ПД происходит в режиме недосжатой детонации. Составы АС-НМ имеют высокую чувствительность к иницирующему импульсу, что связано с невысоким значением критического диаметра детонации. Диаметр широкой конусной части заряда ПД подобран 80 мм, что обеспечило угол конусности

25° и равенство диаметров ПД и инициируемого заряда. Равенство диаметров ПД и заряда позволит обеспечить устойчивую скорость детонации инициируемого заряда на минимальном расстоянии от точки инициирования [3].

Результаты испытаний представлены на диаграмме рис. 2. Из диаграммы следует, что при инициировании заряда гранулита 79/21 как мощным ПД шашкой Т-400Г (в режиме пересжатой детонации) так и низкой мощности конического ПД (в режиме недосжатой детонации) выход на стационарную скорость детонации получен практически на одинаковом расстоянии от точки инициирования. Это еще раз подтверждает, что конический заряд ПД при срабатывании обеспечивает повышенное давление продуктов детонации вдоль оси инициирующего заряда, а соответственно и повышенную инициирующую способность. Как следствие при использовании ПД конической формы величина «разгона» до устойчивой детонации инициируемого заряда даже при меньшей массе меньше, чем при ПД цилиндрической формы.

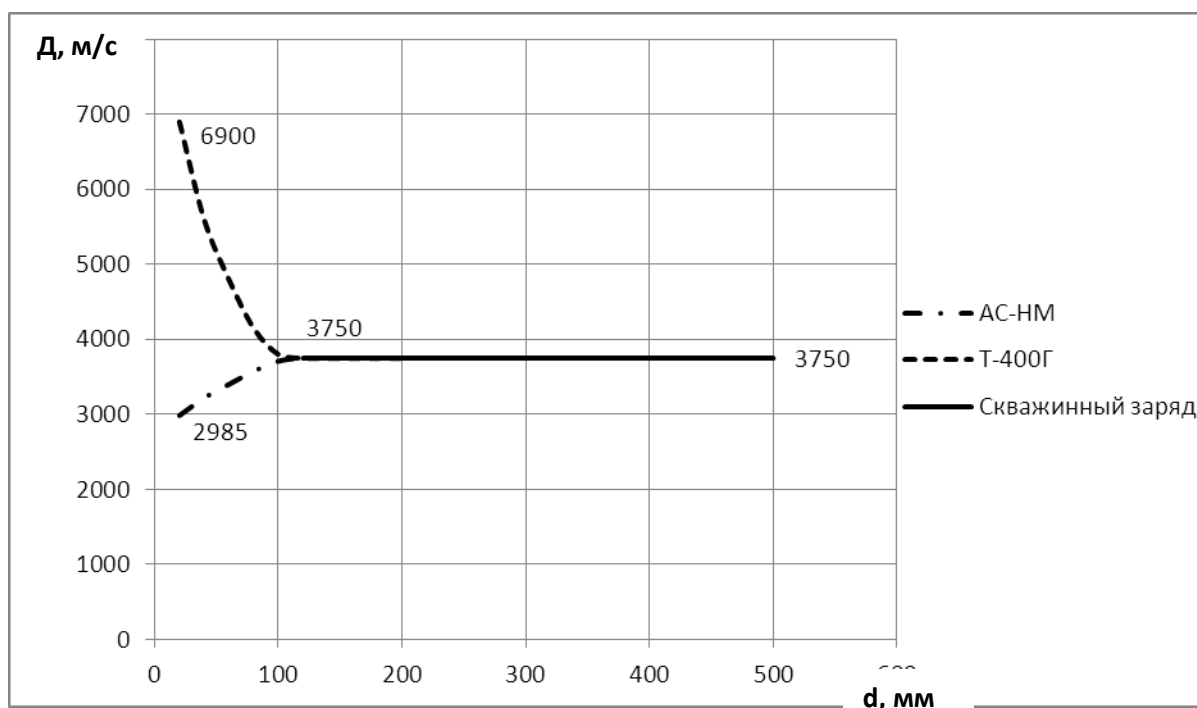


Рис. 2. Влияние формы ПД на устойчивую скорость детонации гранулита 79/21 в зависимости от расстояния от инициатора:

1 – шашка Т-400Г; 2 – ПД конической формы массой 200г

Аммиачная селитра не является взрывчатым веществом и применяется в качестве удобрения в сельском хозяйстве. Нитрометан  $\text{CH}_3\text{NO}_2$  [4, 5], в чистом виде имеет достаточно большой критический диаметр и низкую чувствительность к детонации. Нитрометан не является легковоспламеняющимся веществом, он не чувствителен к капсулю-детонатору №8. Используется в промышленности в качестве добавки к автомобильным топливам с целью повышения их энергетических характеристик (октанового числа), или как топливо в авиамодельном спорте.

Взрывчатый состав для конических ПД с этих невзрывчатых компонентов предлагается изготавливать непосредственно на местах проведения взрывных работ, т.е. на прикарьерном пункте. Основную характеристикой такого состава является то, что его компоненты аммиачная селитра и нитрометан по отдельности не являются взрывчатыми веществами и только при смешивании этих компонентов получается состав с взрывчатыми характеристиками. Поэтому предлагается перевозить невзрывчатые компоненты аммиачную селитру и нитрометан по отдельности на места проведения взрывных работ и на прикарьерном пункте производить смешивание и засыпку в заранее подготовленные конические стаканы необходимого объема и конусности. Это позволит исключить перевозку взрывчатых составов от предприятия изготовителя специальным транспортом по территории страны, что связано с опасностью для населения, согласования маршрута с ГАИ и охраны опасного груза и уменьшить количество охраняемых складских помещений на прикарьерных пунктах.

### Выводы

Исследовано влияние усеченной конической формы промежуточных детонаторов на их инициирующую способность. Установлено, что применение промежуточных детонаторов с углом конусности от  $15^\circ$  до  $45^\circ$  способствует концентрации импульса детонационной волны вдоль его оси. Это позволяет обеспечить лучшую инициирующую способность, что подтверждено установлением устойчивой скорости детонации скважинных зарядов на незначительном расстоянии от точки инициирования. При этом конусность компенсирует зависимость инициирующей способности ПД от его диаметра по сравнению с цилиндрическим ПД, т.е. конусность снижает эту зависимость.

Увеличение максимальной энергии инициирования коническими ПД позволит выбрать безопасные составы, основным условием для которых является низкие значения критического диаметра детонации, обеспечивающего надежное «срабатывание» от штатных ЭД. Предложен такой состав на основе смеси измельченной аммиачной селитры с нитрометаном в соотношении 85-80 к 15-20. Состав имеет скорость детонации 3,0-3,3 км/с и критический диаметр детонации 6-7 мм. Изготовление взрывчатого состава предлагается проводить на местах проведения взрывных работ путем смешения невзрывчатых компонентов аммиачной селитры и нитрометана в необходимом соотношении.

Планируется более широкое исследование конических промежуточных детонаторов в промышленных условиях.

### Список использованных источников

1. Закусило, Р.В. Засоби ініціювання зарядів вибухових речовин [Текст]: монографія / Р.В. Закусило, В.Г. Кравець, В.В. Коробійчук. – Житомир: ЖДТУ, 2011. – 212 с.

2. Калякін С.О. Про лінійне ініціювання зарядів вибухових речовин [Текст] / С.О. Калякін, В.С. Прокопенко // Вісник Кременчуцького національного університету ім. Михайла Остроградського. – Кременчуг: КНУ, 2013. – Вип. 1/2013(11). – С.41-46. – (Серія «теоретичні й експериментальні дослідження процесів руйнування гірських порід вибухом»).

3. Добрынин, И.А. Обоснование параметров промежуточных детонаторов в скважинных зарядах для повышения эффективности дробления горных пород [Текст]: автореф. дис.... к.т.н: 03.06.2010 / Добрынин Иван Александрович; Институт проблем комплексного освоения недр РАН. – М., 2010. – 19 с.

4. Орлова, Е.Ю. Химия и технология бризантных взрывчатых веществ [Текст] / Ю.Ю. Орлова. – М.: Химия, 1981. – 312 с.

5. Дубнов, Л.В., Промышленные взрывчатые вещества [Текст]: 3-е изд. / Л.В. Дубнов, Н.С. Бахаревич, А.И. Романов. – М. «Недра», 1988. – 358 с.

*Статья поступила в редакцию 20.01.2017р.*

УДК 651.82.681.324

DOI: 10.20535/2079-5688.2017.32.92451

**Д.В. Вінівітін**, інженер (ПрАТ «Полтавський ГЗК»)

## **ПРАВИЛА ФОРМУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ДІЛЯНОК ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ВАНТАЖНО-ТРАНСПОРТНИМ КОМПЛЕКСОМ КАР'ЄРУ НА ІНТЕРВАЛІ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНУВАННЯ**

**D.V. Vinivitin** (Ferrexpo Poltava Mining)

## **RULES FOR FORMATION OF TECHNOLOGICAL SITES TO MANAGE MINE LOADING-TRANSPORT COMPLEX ON THE INTERVAL OF OPERATIVE PLANNING**

*Розглянуті ситуації несумісності обмежень моделі лінійного програмування оперативного планування роботи кар'єру. Пропонується виокремити технологічні ділянки на кар'єрі, в рамках яких змінювати можливі продуктивності вантажної та приймальної ланок кар'єру.*

**Ключові слова:** вантажно-транспортний комплекс залізрудного кар'єру; автоматизація оперативного планування; подолання несумісності обмежень моделі; структуризація технологічної ситуації.

*Рассмотрены ситуации несовместности решения ограниченной модели линейного программирования оперативного планирования работы карьера. Предлагается выделить технологические участки на карьере, в рамках которых изменять возможные производительности погрузочного и приемного звеньев карьера.*

**Ключевые слова:** погрузочно-транспортный комплекс железорудного карьера; автоматизация оперативного планирования; преодоление несовместности ограниченной модели; структуризация технологической ситуации.