

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ ВО ФРОНТЕ УДАРНОЙ ВОЛНЫ ВЗРЫВОМ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДЕТОНИРУЮЩИХ ШНУРОВ

**Фарходбек Яркулович УМАРОВ**

профессор

доктор технических наук

Национального исследовательского технологического университета «МИСиС»

Алмалык, Узбекистан

[farkhodbek.umarov@yandex.ru](mailto:farkhodbek.umarov@yandex.ru)

**Темур Минграхматович ЯКШИБАЕВ**

аспирант

Российский государственный геологоразведочный университет

имени Серго Орджоникидзе

Москва, Россия

[temur19.01.1988.tm@list.ru](mailto:temur19.01.1988.tm@list.ru)

## Аннотация

В статье проведены теоретические исследования по установлению максимального давления во фронте ударной волны взрывом цилиндрического скважинного заряда взрывчатых веществ с применением детонирующего шнура.

**Ключевые слова:** кучное выщелачивание, многоярусный рудный штабель, камуфлетный скважинный заряд, сыпучая рудная масса, забойка, ударная волна, максимальное давление, цилиндрический заряд, детонирующий шнур.

# ПОРТЛАШ СИМЛАРИ ЁРДАМИДА ПОРТЛОВЧИ МОДДАЛАРНИ ПОРТЛАТИШ ОРҚАЛИ ЗАРБА ТЎЛҚИНИНИНГ ОЛД ҚИСМИДАГИ МАКСИМАЛ БОСИМНИНГ ЎЗГАРИШИНИНГ НАЗАРИЙ ТАДҚИҚОТЛАРИ

**Фарходбек Яркулович УМАРОВ**

профессор

Техника фанлари доктори

Миллий тадқиқот технология университети «МИСиС»

Олмалик, Ўзбекистон

[farkhodbek.umarov@yandex.ru](mailto:farkhodbek.umarov@yandex.ru)

**Темур Минграхматович ЯКШИБАЕВ**

Аспирант

Серго Орджоникидзе номидаги

Россия Давлат геология қидирув Университети

Москва, Россия

[temur19.01.1988.tm@list.ru](mailto:temur19.01.1988.tm@list.ru)

## Аннотация

Мақолада портлаш симидан фойдаланган ҳолда портловчи моддаларнинг цилиндрсимон кудуқ зарядини портлатиш орқали зарба тўлқинининг олд

қисмидаги максимал босимни аниқлаш бўйича назарий тадқиқотлар олиб борилди.

**Таянч сўзлар:** уюмларни ишқорлаш, кўп қатламли руда уюми, камуфлетли кудуқ заряди, сочилувчан руда массаси, забойка, зарба тўлкини, максимал босим, цилиндрсимон заряд, портлаш шнури.

Для совершенствования процесса кучного выщелачивания (КВ) многоярусного рудного штабеля возможно применение новых рациональных методов, одним из которых является способ интенсификации его путем встряхивания многоярусного рудного штабеля пород взрывом камуфлетного скважинного заряда. Данный способ приемлем в случае снижения концентрации золота в продуктивном растворе с течением времени. При производстве взрывания камуфлетных скважинных зарядов ВВ происходят перемещение, измельчение, размежевание и изменение ориентации кусков породы в глубине многоярусного рудного штабеля с образованием дополнительных микро- и макротрещин в кусках. Для изучения процесса встряхивания многоярусного рудного штабеля КВ необходимо исследовать механизм камуфлетного взрыва ВВ в сыпучей среде и обосновать основные его параметры.

Данные исследования были проведены на руднике цеха кучного выщелачивания золота (ЦКВЗ) Центрального рудоуправления Навоийского горно-металлургического комбината.

Значения коэффициентов, зависящие от содержания заземлённого воздуха в профильтровой зоне, приведены в таблице 1.

**Таблица 1**

**Значения параметров  $\alpha$  и  $K^*$  для определения максимального давления при взрыве цилиндрического скважинного заряда с использованием ДШ в пористой среде [1]**

Характеристика массива	Содержание заземлённого воздуха в среде в долях единицы, $\alpha$	$K^*$
Водонасыщенный песок	0	600
-//-	$5 \times 10^{-4}$	450
-//-	10-2	250
-//-	$4 \times 10^{-2}$	45
Неводонасыщенный песок	-	7,5

При использовании сплошной забойки изменяется ее давление и она после вылета продолжает оказывать противодействие истекающим продуктам детонации, что может оказывать влияние на развитие зоны трещинообразования или зоны дополнительного дробления кусков сыпучей рудной массы штабеля.

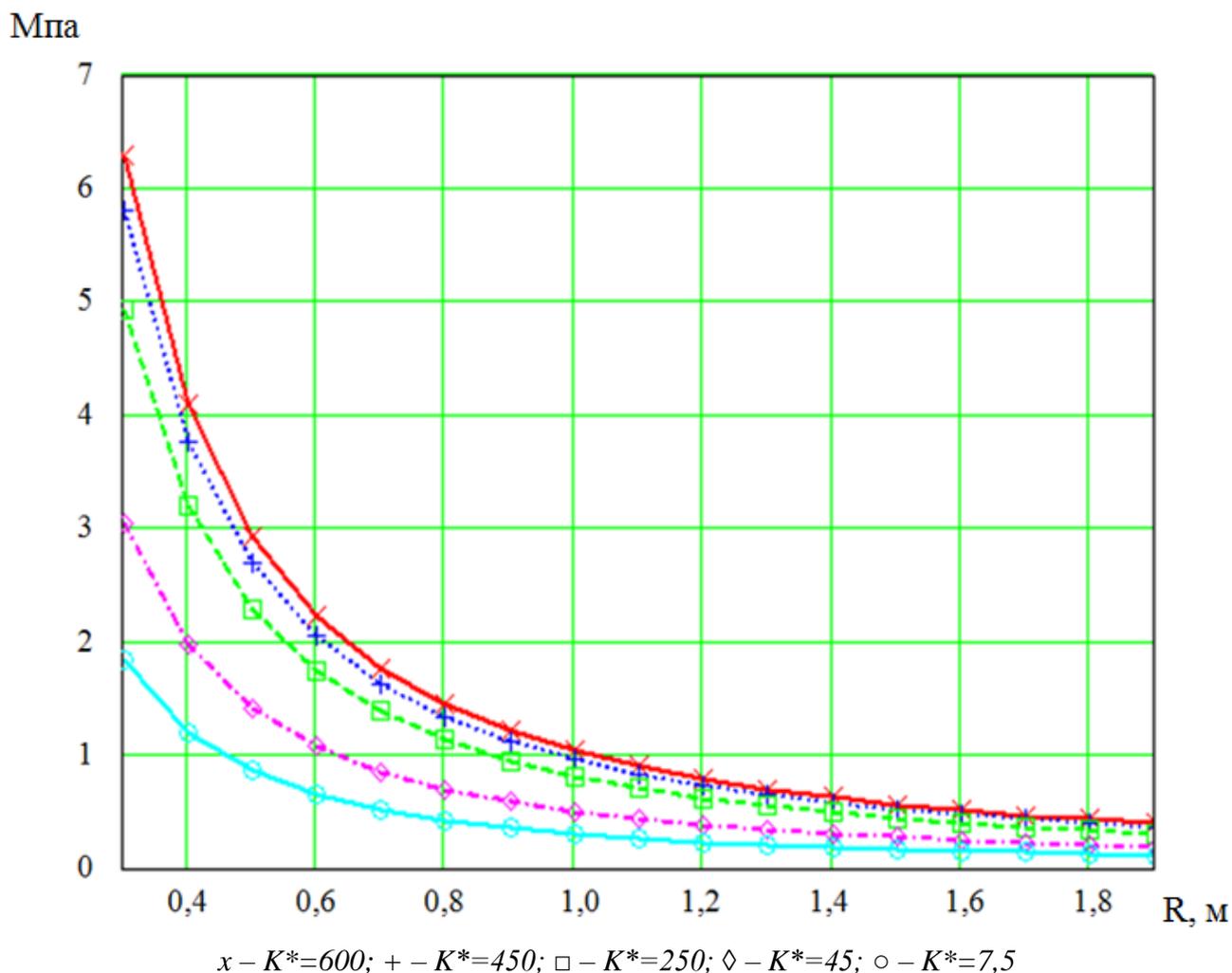
В результате теоретических исследований процесса движения по скважине забойки с учетом законов сохранения энергии, количества движения и потери импульса на трение для сыпучей забойки была получена зависимость изменения максимального давления во фронте ударной волны взрывом цилиндрического заряда с применением ДШ в зависимости от расстояния, массы заряда, коэффициентов, зависящих от соотношения диаметра и длины песчаной забойки ( $d_3/l_3$ ) и учитывающих потери давления при прохождении ударной волны через массив горных пород многоярусного рудного штабеля и наружного диаметра скважины:

$$\begin{cases} P_c(t_1) = \frac{\lambda_1 l_3 \rho_3 C_p}{t_1} \left( 1 + \lambda_2 \frac{\rho}{\rho_3} \right) \left( 1 + \lambda_3 \frac{\rho_3 C_p^2}{C_4} \right); \\ P_c(t_2) = \frac{\nu \cdot l_3 \cdot \left( \ln \left| \frac{k^* \cdot z}{1 - k^* \cdot l_3} \right| \right)^2}{t_2} \end{cases}, \text{ МПа} \quad (1)$$

где  $t_1$  - время вывода забойки в скважине из неподвижного состояния, мс;  $t_2$  - время движения песчаной забойки в скважинном заряде ВВ  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ , - коэффициенты, определяемые экспериментальным путем и являющиеся функцией параметров  $d_3/l_3$ ;  $d_3$  - диаметр забойки, м;  $l_3$  - длина забойки, м;  $\rho_3$  - плотность забойки, кг/м<sup>3</sup>;  $C_p$  - скорость продольных волн в забоечном материале, м/с;  $P$  - давление продуктов детонации, МПа;  $\rho$  - плотность продуктов детонации, кг/м<sup>3</sup>;  $C_4$  - сцепление частиц забоечного материала, Мпа;  $\nu$  - плотность забоечного материала, кг/м<sup>3</sup>;  $z$  - время движения забойки, м/с;  $k^*$  - коэффициент трения.

На рис. 1 приведены изменения максимального давления во фронте ударной волны от расстояния при различных значениях коэффициента, зависящего от

содержания заземляющего воздуха в массиве горных пород многоярусного рудного штабеля КВ и прифилтровой зоне.

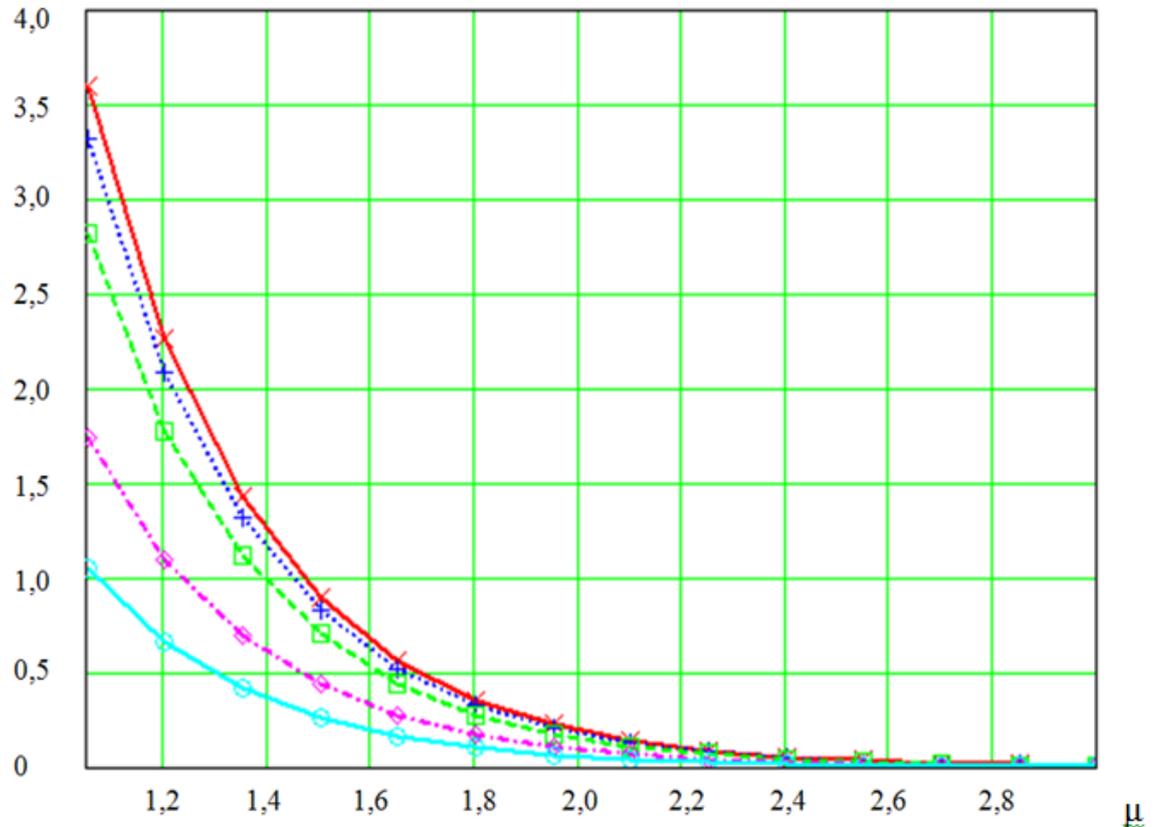


**Рис. 1.** Изменение максимального давления во фронте ударной волны при взрыве цилиндрического заряда с применением ДШ в зависимости от расстояния при различных значениях  $K^*$

Исследованиями установлено (рис.1), что с увеличением расстояния от очага взрыва максимальное давление во фронте ударной волны снижается. На расстоянии 0,4 м от очага взрыва максимальное давление во фронте ударной волны составляет 4; 3,8; 3,2; 2 и 1,2 МПа для водонасыщенной среды, содержащей заземляющий воздух, соответственно  $0$ ;  $5 \cdot 10^{-4}$ ;  $10^{-2}$ ;  $4 \cdot 10^{-2}$  и для неводонасыщенной руды.

Дальнейшее увеличение расстояния от очага взрыва (более 0,4 м) сопровождается снижением максимального давления во фронте ударной волны.

МПа



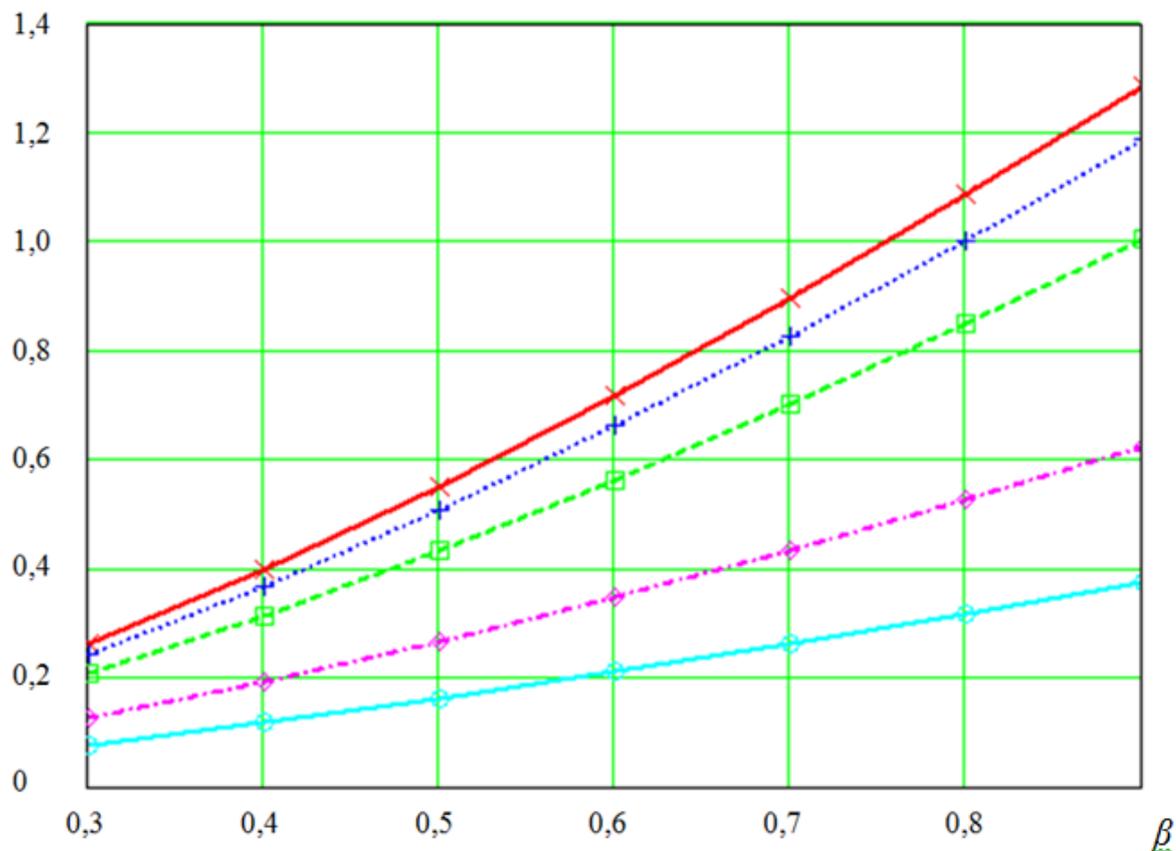
$x - K^*=600$ ;  $+ - K^*=450$ ;  $\square - K^*=250$ ;  $\diamond - K^*=45$ ;  $\circ - K^*=7,5$

**Рис. 2.** Изменение максимального давления во фронте ударной волны при взрыве цилиндрического заряда с применением ДШ в зависимости от расстояния прохождения максимального давления через массив горных пород многоярусного рудного штабеля КВ и прифилтровой зоны при различных значениях  $K^*$

Исследованиями установлено (рис.2), что при увеличении расстояния прохождения максимального давления через массив горных пород многоярусного рудного штабеля КВ и прифилтровой зоны скважины давление во фронте ударной волны снижается.

Увеличение коэффициента содержания заземляющего воздуха прифилтровой зоны (от 1,0 до 3,0) сопровождается также снижением максимального давления во фронте ударной волны.

МПа



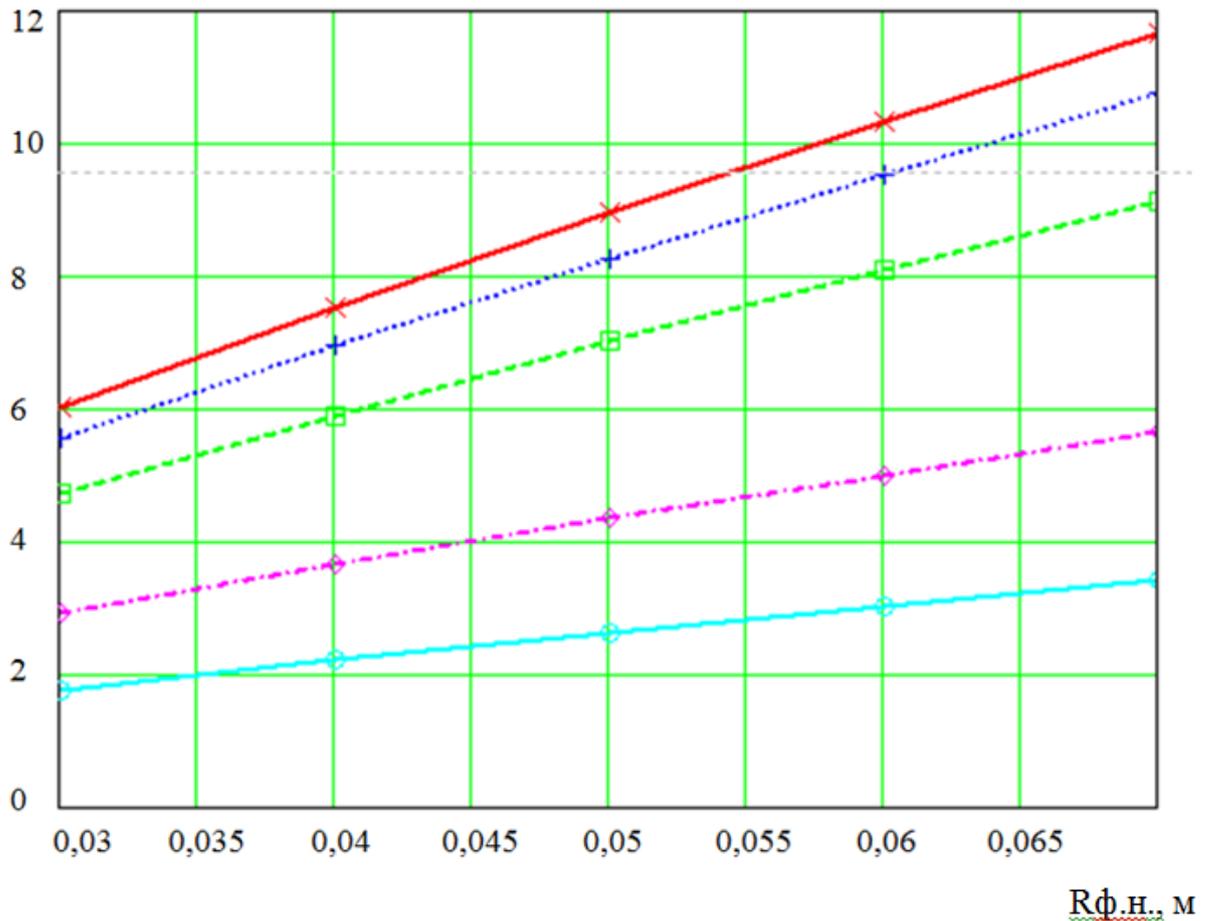
$x - K^*=600$ ;  $+ - K^*=450$ ;  $\square - K^*=250$ ;  $\diamond - K^*=45$ ;  $\circ - K^*=7,5$

**Рис. 3.** Изменение максимального давления во фронте ударной волны при взрыве цилиндрического заряда с применением ДШ в зависимости от коэффициента ослабления массива горных пород многоярусного рудного штабеля КВ при различных значениях  $K^*$

На рис. 3 приведено изменение максимального давления во фронте ударной волны при взрыве цилиндрического заряда с применением ДШ в зависимости от коэффициента ослабления массива горных пород многоярусного рудного штабеля КВ при различных содержаниях заземляющего воздуха.

Исследованиями установлено (рис.3), что увеличение коэффициента ослабления массива горных пород в рудном штабеле КВ сопровождается увеличением максимального давления во фронте ударной волны.

Мпа



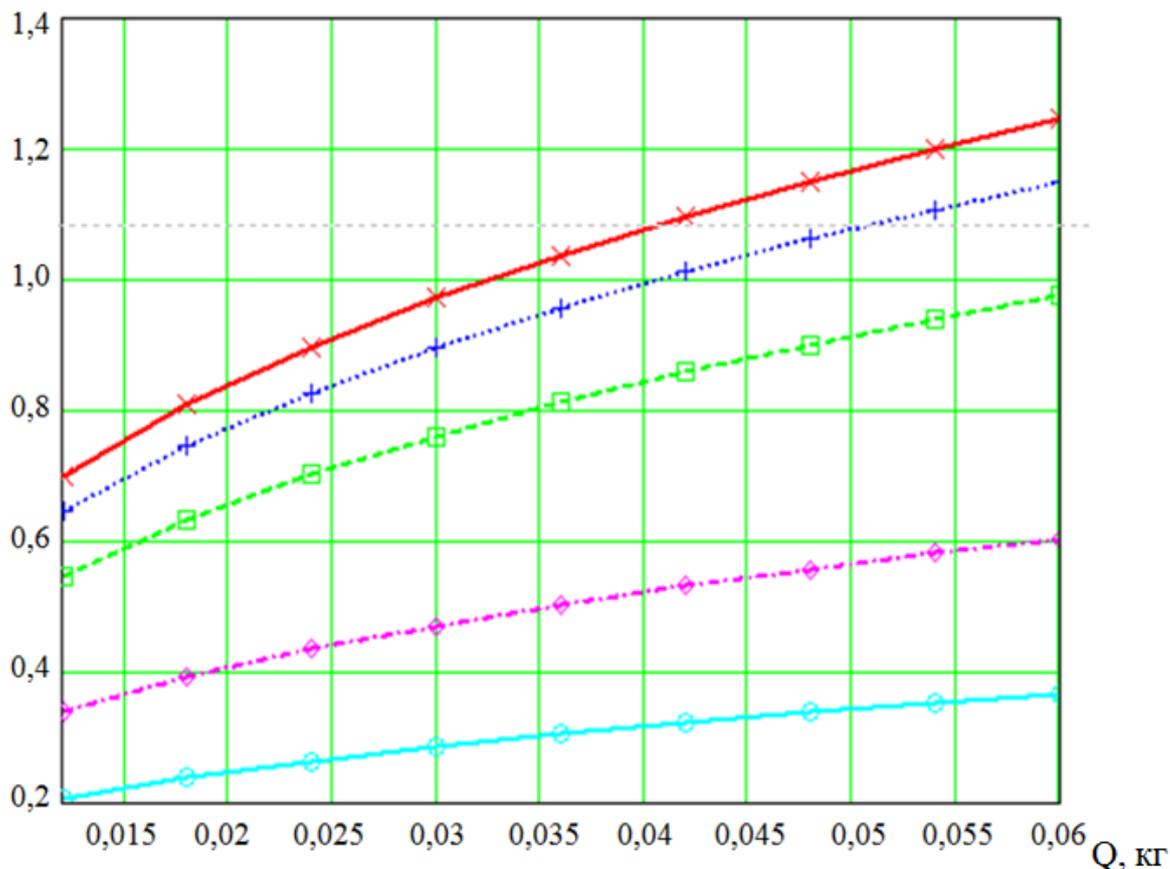
$x - K^*=600$ ;  $+$   $- K^*=450$ ;  $\square - K^*=250$ ;  $\diamond - K^*=45$ ;  $\circ - K^*=7,5$

**Рис. 4.** Изменение максимального давления во фронте ударной волны при взрыве цилиндрического заряда с применением ДШ в зависимости от внешнего радиуса технологического фильтра при различных значениях  $K^*$

На рис. 4 приведено изменение максимального давления во фронте ударной волны при взрыве цилиндрического заряда с применением ДШ в зависимости от внешнего радиуса технологического фильтра при различных значениях  $K^*$ .

Исследованиями установлено, что увеличение диаметра скважинного цилиндрического заряда ВВ с применением ДШ сопровождается увеличением максимального давления во фронте ударной волны.

МПа



$x - K^*=600$ ;  $+ - K^*=450$ ;  $\square - K^*=250$ ;  $\diamond - K^*=45$ ;  $\circ - K^*=7,5$

**Рис. 5.** Изменение максимального давления во фронте ударной волны при взрыве цилиндрического заряда с применением ДШ в зависимости от массы заряда при различных значениях  $K^*$

На рис. 5 приведено изменение максимального давления во фронте ударной волны при взрыве цилиндрического заряда ВВ с применением ДШ в зависимости от массы заряда при различных значениях коэффициента содержания заземляющего воздуха в массиве горных пород многоярусного рудного штабеля КВ и прифилтровой зоне.

Исследованиями установлено, что увеличение массы цилиндрического заряда от 0,012 кг до 0,06 кг сопровождается увеличением максимального давления во фронте ударной волны. Полученные зависимости показывают, что при взрыве цилиндрического заряда массой 0,012 кг и значениях коэффициента содержания заземляющего воздуха 75; 45; 250; 450 и 600 максимальное давление во фронте ударной волны составляет, соответственно, 0,22; 0,38; 0,6; 0,7 и 0,77 МПа. При дальнейшем увеличении массы заряда (0,06 кг) и значениях коэффициента

содержания заземляющего воздуха 75; 45; 250; 450 и 600 максимальное давление во фронте ударной волны увеличивается и составляет, соответственно, 0,38; 0,6; 0,98; 0,115 и 0,125 МПа.

Таким образом, детонация в водной среде связана с образованием большого количества газообразных продуктов, быстрое расширение которых является причиной появления ударной волны. Ударная волна распространяется со сверхзвуковой скоростью и намного опережает движение следующего за волной гидротока, а также газов, распространяющихся за гидротоком. Газообразные продукты образуют пузырь, который расширяется в жидкой среде. Пузырь совершает колебательные движения, состоящие в увеличении или уменьшении его диаметра, и каждое колебание сопровождается отдачей содержащейся в нем энергии. Колебательное движение пузыря становится причиной возникновения вторичных ударных волн. После двух сокращений в пузыре сохраняется меньше 8% его начальной энергии.

Установлено, что параболическая зависимость изменения максимального давления во фронте ударной волны при взрыве цилиндрического скважинного заряда с применением ДШ от расстояния, массы заряда, значений коэффициентов, зависящих от содержания заземляющего воздуха в растворе и учитывающих потери давления при прохождении ударной волны через массив горных пород многоярусного рудного штабеля КВ, наружного диаметра скважин, на основе которых разработаны критерии подбора массы цилиндрического скважинного заряда с использованием ДШ.

### **ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. Багазеев В.К., Валиев Н.Г., Кравченко А.П. Процессы открытых горных работ: Геотехнология добычи золота: учебное пособие. – Екатеринбург: Изд. УГГУ, 2001. – 110 с.