

## РАСПРОСТРАНЕНИЕ УДАРНОЙ ВОЛНЫ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

*Студ. Купалкин С.А., асс. Головнёва Е.Е. ДонНТУ, Донецк*

Основными факторами, влияющими на режим распространения ударной волны в горных выработках после прекращения горения, являются параметры волны ( $\Delta P_{\Phi}$  и  $\tau_+$ ) в начале участка движения, продукты взрыва горючей смеси, геометрические размеры выработки, число и вид местных сопротивлений, тин крени, длина пути, пройденного волной, температура воздуха и стенок выработки и др.

Распространение ударной волны (УВ) по прямолинейным участкам горных выработок характеризуется следующей зависимостью:

$$\Delta P_x = \Delta P_{\Phi} e^{-k \frac{\Pi}{S} x}, \quad (1)$$

где  $\Delta P_x$  — избыточное давление в волне на расстоянии  $x$  от начального сечения, МПа;  
 $\Delta P_{\Phi}$  — избыточное давление в волне в начале участка движения, МПа;  
 $\Pi$  — периметр выработки, м;  
 $S$  — площадь поперечного сечения выработки (в свету), м<sup>2</sup>;  
 $x$  — путь, пройденный волной по выработке, м;  
 $k$  — безразмерный коэффициент затухания ударной волны;

$$k = \left( 4,1 - 3,1 e^{-3\Delta P_{\Phi}} \right) \alpha; \quad (2)$$

$\alpha$  — коэффициент аэродинамического сопротивления горной выработки, Н·с<sup>2</sup>/м<sup>4</sup>.

Если на пути движения УВ имеются участки с различными сечениями и видами крепи, то определение снижения давления производится для каждого участка в отдельности. За начальное давление в каждом последующем участке (по направлению движения волны) принимается конечное давление в предыдущем участке с учётом изменения его величины при внезапном сужении или расширении.

Определение давления во фронте УВ на расстоянии  $x$  от исходной точки производится в следующем порядке.

Для определения давления ударной волны, формирующихся при взрыве газов и пыли в системе горных выработок, необходимо составить расчётную схему. На ней должны быть указаны длина каждого участка, закреплённого однотипной крепью, вид крепи, периметр и площадь поперечного сечения выработки, все местные сопротивления в виде сопряжений, поворотов и т. п.

Приведённые диаметры каждого  $i$ -го участка рассчитывают по формуле:

$$d_{\text{при}} = 4S_i/\Pi_i \quad (3)$$

где  $S_i$  — площадь поперечного сечения выработки  $i$ -го участка, м<sup>2</sup>;  
 $\Pi_i$  — периметр выработки  $i$ -го участка, м.

Связь между площадью поперечного сечения выработки и её периметром показана ниже.

Форма сечения	Квадратная	Арочная	Трапециевидная	Круглая
Формула для определения периметра	$4\sqrt{S}$	$3,84\sqrt{S}$	$4,16\sqrt{S}$	$3,56\sqrt{S}$

Определяют суммарную безразмерную длину активного участка взрыва от очага воспламенения до границы раздела «горючая смесь — воздух» по формуле:

$$\bar{L} = \sum_{i=1}^n L_i / d_{\text{пр}i},$$

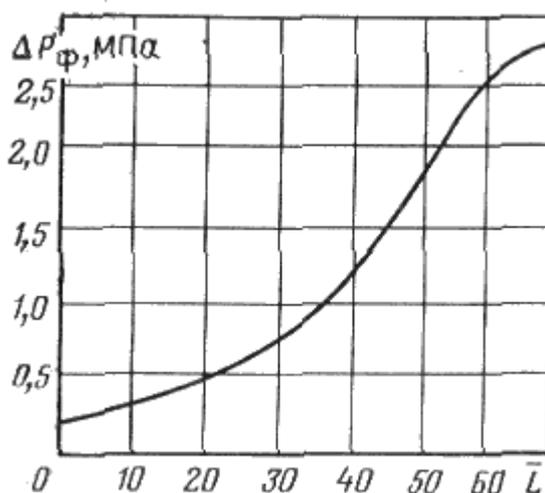
где  $L_i$  — длина  $i$ -го участка расчётной схемы, м;  
 $i=1, 2, \dots$  — число участков по расчётной схеме;  
 $n$  — фактическое число участков.

По графику (рис. 1) находят давление сформировавшейся УВ. Для определения давления ударной волны в зоне горения по этому графику необходимо из точки на оси  $O\bar{L}$ , которая соответствует величине  $\bar{L}$ , определённой по формуле, восстановить перпендикуляр до пересечения с кривой  $\Delta P_{\text{ф}} = f(\bar{L})$ . Из точки пересечения перпендикуляра с кривой изменения давления провести линию, параллельную оси  $O\bar{L}$ , до пересечения с осью давления  $\Delta P_{\text{ф}}$ . Найденное значение будет соответствовать давлению во фронте ударной волны в зоне горения.

В тех случаях, когда суммарная безразмерная длина  $\bar{L} \geq 65$ , а также при  $\bar{L} \geq 15$ , когда выработка сильно загромождена оборудованием, крепёжными материалами и т. п. или нет достоверных сведений о загромождённости выработок, в которых предполагается горение, давление во фронте УВ следует принимать равным 2,8 МПа.

После прекращения горения газопылевоздушной смеси наступает режим распространения ударной волны по горным выработкам. При этом предполагается отсутствие горючих компонентов (взрывчатых концентраций метана, угольной пыли и т.п.) в примыкающих к активному участку горных выработок.

Для предотвращения распространения взрыва за расчётные границы активного участка во всех примыкающих к нему горных выработках угольная пыль должна быть обмыта или связана ПАВ на расстоянии не менее двух длин активного участка.



**Рис. 1** - График зависимости давления во фронте ударной волны  $\Delta P_{\text{ф}}$  от безразмерной длины выработки  $\bar{L}$

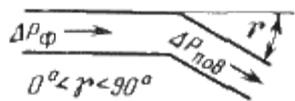
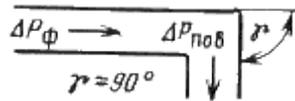
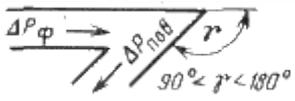
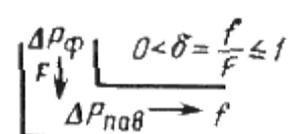
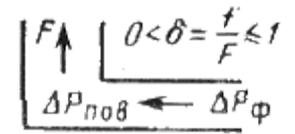
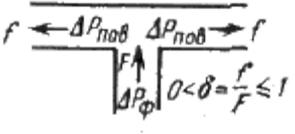
Давление во фронте УВ (МПа), распространяющейся через местные сопротивления в виде поворотов, сопряжений и т. п., может быть найдено по формуле

$$\Delta P_{\phi} = \frac{0,4A - 0,29 + \sqrt{(0,4A - 0,29)^2 + 2,8A}}{4,8}, \quad (4)$$

где  $A$  - коэффициент избыточного давления на определённом участке, устанавливаемый по табл. 2 в зависимости от вида местного сопротивления, МПа.

В таблице 1 через  $\Delta P_{\phi}$  обозначено давление во фронте ударной волны перед местным сопротивлением, МПа;  $\gamma$  — угол поворота или сопряжения;  $\delta$  — отношение площадей поперечного сечения каналов (меньшего к большему  $P$ ); индекс «гл» относится к параметрам, характеризующим главную выработку, а индекс «пов» — примыкающие.

**Табл. 1** – Расчётные формулы для определения  $A$  для различных видов местных сопротивлений

Виды сопротивления	Расчётная формула
	$A_{\text{пов}} = \Delta P_{\phi} + \frac{5\Delta P_{\phi} (1 - 0,25 \sin^2 \gamma)}{\Delta P_{\phi} + 0,72}$
	$A_{\text{пов}} = \Delta P_{\phi} + \frac{4\Delta P_{\phi}^2}{\Delta P_{\phi} + 0,72}$
	$A_{\text{пов}} = \Delta P_{\phi} + \frac{4\Delta P_{\phi}^2}{\Delta P_{\phi} + 0,72} + \frac{\Delta P_{\phi}^2 \cos^2 \gamma}{\Delta P_{\phi} + 0,72}$
	$A_{\text{пов}} = \left[ \Delta P_{\phi} + \frac{4\Delta P_{\phi}^2}{\Delta P_{\phi} + 0,72} \right] + \left[ \Delta P_{\phi} + \frac{2\Delta P_{\phi}^2}{\Delta P_{\phi} + 0,72} \right] (1 - \delta)$
	$A_{\text{пов}} = \left[ \Delta P_{\phi} + \frac{4\Delta P_{\phi}^2}{\Delta P_{\phi} + 0,72} \right] \delta$
	<p>При <math>F &gt; f</math></p> $A_{\text{пов}} = 0,7\Delta P_{\phi} + \frac{2,8\Delta P_{\phi}^2}{\Delta P_{\phi} + 0,72} + (1 - \delta) \left[ 1,3\Delta P_{\phi} + \frac{3,2\Delta P_{\phi}^2}{\Delta P_{\phi} + 0,72} \right]$ <p>При <math>F &lt; f</math></p> $A_{\text{пов}} = \left[ 0,7\Delta P_{\phi} + \frac{2,8\Delta P_{\phi}^2}{\Delta P_{\phi} + 0,72} \right] \delta$

	$A_{гл} = (1 - 0,51\delta) \left[ \Delta P_{\phi} + \frac{5\Delta P_{\phi}^2}{\Delta P_{\phi} + 0,72} \right]$ $A_{пов} = (1 - 0,64\delta) \Delta P_{\phi}$
	$A_{гл} = (1 - 0,25\delta) (1 - 0,333\delta \cos^2 \gamma) \times$ $\times \left[ \Delta P_{\phi} + \frac{5\Delta P_{\phi}^2}{\Delta P_{\phi} + 0,72} \right]$ $A_{пов} = (1 - 0,35\delta) (1 - 0,231\delta \cos^2 \gamma) \times$ $\times \left[ \Delta P_{\phi} + \frac{5\Delta P_{\phi}^2 \cos^2 \gamma}{\Delta P_{\phi} + 0,72} \right]$
	$A_{гл} = (1 + 0,25\delta) \left[ \Delta P_{\phi} + \frac{5\Delta P_{\phi}^2}{\Delta P_{\phi} + 0,72} \right]$ $A_{пов} = \Delta P_{\phi} (1 - 0,35\delta)$
	$A_{гл} = (1 - 0,25\delta) \left[ \Delta P_{\phi} + \frac{5\Delta P_{\phi}^2}{\Delta P_{\phi} + 0,72} + \right.$ $\left. + \frac{2,5\delta P_{\phi}^2 \cos^2 \gamma}{4\Delta P_{\phi} + 0,72} \right]$ $A_{пов} = (1 - 0,35\delta) \left[ \Delta P_{\phi} + \frac{2,5\Delta P_{\phi}^2 \cos^2 \gamma}{4\Delta P_{\phi} + 0,72} \right]$
	$A_{пов} = \Delta P_{\phi} \delta \left[ 1 + \frac{4\Delta P_{\phi}}{\Delta P_{\phi} + 0,72} + \frac{\Delta P_{\phi} \cos^2 \gamma}{\Delta P_{\phi} + 0,72} \right]$
	$A_{пов} = \left[ 2\Delta P_{\phi} + \frac{6\Delta P_{\phi}^2}{\Delta P_{\phi} + 0,72} - \right.$ $\left. - \left( \Delta P_{\phi} + \frac{2\Delta P_{\phi}^2}{\Delta P_{\phi} + 0,72} \right) \delta \right] (1 - \cos \gamma) +$ $+ \left( \Delta P_{\phi} + \frac{5\Delta P_{\phi}^2}{\Delta P_{\phi} + 0,72} \right) \cos \gamma$

Если к выработке, по которой предполагается распространение УВ, примыкает тупик с безразмерной длиной  $\bar{L} \leq 12$ , то потери давления в местном сопротивлении учитывать не следует. В тех случаях, когда  $\bar{L} > 12$ , расчёт необходимо производить по приведённой выше формуле.

При движении ударной волны по горным выработкам на её пути могут встретиться внезапные сужения и расширения. Изменение давления во фронте ударной волны, распространяющейся через такое сопротивление, определяют по формуле:

$$\Delta P_{ф.с} = k_c \Delta P_{\phi}, \quad (5)$$

где  $\Delta P_{ф.с}$  — давление во фронте УВ после внезапного сужения или расширения выработки, МПа;  
 $\Delta P_{\phi}$  — давление во фронте УВ на подходе к внезапному сужению или расширению выработки, МПа;

$k_c$  — безразмерный коэффициент сопротивления при внезапном сужении или расширении выработки.

Коэффициент сопротивления волны  $k_c$  в зависимости от отношения  $\delta$  площадей поперечного сечения выработок определяется из таблицы 2.

**Табл. 2** – Значение коэффициента сопротивления волны  $k_c$  в зависимости от отношения площадей поперечного сечения выработки

Схема прохождения, УВ по выработке	$\delta = f/F$	Коэффициент сопротивления волны при переходе ее		Коэффициент гашения проема $K_f = \Delta P_3 / \Delta P_1$ (среднее значение)
		из широкого канала в узкий $K_{c1} = \Delta P_2 / \Delta P_1$	из узкого канала в широкий $K_{c2} = \Delta P_3 / \Delta P_2$	
	0,8	1,1	0,9	0,98
	0,6	1,22	0,79	0,95
	0,4	1,37	0,6	0,85
	0,2	1,51	0,37	0,55
	0,1	1,75	0,15	0,24
	0,05	2,15	0,08	0,17

$\Delta P_1$  — избыточное давление в УВ в широкой части выработки при входе в узкую часть;  
 $\Delta P_2$  — то же, в узкой части выработки;  
 $\Delta P_3$  — то же, в широкой части выработки после прохождения узкой части ее

Вывод. Для повышения оперативности и точности расчётов распространения ударной волны по прямолинейным участкам горных выработок в каждом угольном бассейне необходимо систематизировать типоразмеры горных выработок по видам крепи, площади поперечного сечения и коэффициент аэродинамических сопротивлений.

### Библиографический список

1. Методика определения параметров воздушных ударных волн при взрывах газов и пыли в горных выработках. СНиП 2.01.34-84 <http://www.gornospass.ru/>