

3. Благов И.С. Экономическая эффективность повышения качества углей. / И.С. Благов, В.К. Турченко // – М.: Недра, 1978. – 160 с.

Blagov I.S. Economic efficiency of improvement of quality of coals. / I.S. Blagov, V.K. Turchenko // M.: Nedra, 1978. – 160 p.

4. Наказ №158 від 29.04.96. „Про затвердження Оптових цін на вугілля, продукти збагачення та брикети“ (Реєстр. №239/1264 від 24.05.1996). – К.: Мінвуглепром України, 1996. – 3 с.

The order No 158 from 29.04.96. “About the approval of wholesale prices for coal, preparation output and briquettes” (Reestr. No 239/1264 from 24.05.1996). – K.: Minvugleprom Ukrainy, 1996. – 3 p.

5. Вугілля кам'яне та антрацит для пилويدного спалювання на теплових електростанціях. Технічні умови: ДСТУ 4083-2002. – [Чинний від 2002-09-01]. – К.: Держстандарт України, 2002. – 10 с.

Black coal and anthracite for powdered fuel burning at thermal power plants. Specifications: DSTU 4083-2002. – [valid since 2002-09-01]. – K.: State Standard of Ukraine, 2002. – 10 p.

6. Благов И.С. Справочник по обогащению углей. / И.С. Благов, А.М. Коткин, Л.С. Зарубин // – М.: Недра, 1984. – 614 с.

Blagov I.S. Reference book on coal cleaning. / I.S. Blagov, A.M. Kotkin, L.S. Zarubin// – M.: Nedra, 1984. – 614 p.

Определен критерий экономической целесообразности обогащения энергетических углей разных марок с учетом влияния ценовых факторов на транспортировку, обогащение и влияния корректирующих ценовых факторов по зольности. Проведены расчеты количественно-качественных показателей угольной продукции для потребностей энергетики (пылевидного сжигания) с учетом ограничений его использования.

Ключевые слова: уголь, обогащение, переработка, концентрат, отсев, зольность

It is determined the criterion of economic efficiency of different marks of power coal cleaning taking into account price restrictions on transportation and coal cleaning, correcting price factor depending on ash content. Quantitative and qualitative indicators of coal production for needs of power plants in view of restrictions on powdered fuel burning are worked out.

Keywords: coal, preparation, reprocessing, concentrate, ridding, ash content

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук В.П. Франчуком. Дата надходження рукопису 14.05.11

УДК 622.235.575.2

А.А. Вовк, д-р техн. наук, проф.,

О.А. Вовк, канд. техн. наук, доц.,

А.А. Бузыла, В.В. Вапничная, канд. техн. наук

Национальный технический университет Украины „КПИ“, г. Киев, Украина, e-mail: buzik@meta.ua

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СЕЙСМИЧЕСКОГО ОЧАГА ПРИ ВЗРЫВАХ И ГОРНЫХ УДАРАХ

A.A. Vovk, Dr. Sci. (Tech.), Professor,

O.A. Vovk, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor,

A.A. Buzyla, V.V. Vapnichnaya, Cand. Sci. (Tech.)

National Technical University of Ukraine „KPI“, Kyiv, Ukraine, e-mail: buzik@meta.ua

DETERMINATION OF PARAMETERS OF SEISMIC CENTRE OF EXPLOSIONS AND ROCK BURSTS

Рассмотрены методики определения размеров зоны необратимых деформаций (полости, зоны дробления и зоны радиальных трещин) при взрывах зарядов взрывчатых веществ и методики определения радиуса излучателя при горном ударе. Размеры этих зон являются одними из наиболее важных исходных параметров при исследовании сейсмических волн любого происхождения. Приведены расчетные данные и сравнительная характеристика рассмотренных методик.

Ключевые слова: зона необратимых деформаций, упругая зона, радиус излучателя, очаг взрыва, полость, горный удар

Сейсмическим очагом (сейсмоизлучателем) в литературе называют объем породы, в котором произошли необратимые деформации (дробление, трещины) и на границах которого напряжения и деформации характеризуются упругими показателями. Размеры сейсмического очага зависят только от свойств пород и массы заряда, хотя В.Н. Мосинец,

В.Ф. Богацкий считают, что его собственные колебания пропорциональны длине поперечной волны.

В настоящее время в основном используется эмпирический подход к определению указанного параметра в виде простой функции $r_u = f(Q^{1/3})$ с коэффициентом пропорциональности, представляющим собой линейный коэффициент сейсмического очага, зависящий от упругих свойств породы

$$r_u = K_0 \sqrt[3]{Q_{es}}$$

Значение коэффициента K_0 определяется эмпирическим путем, но имеются рекомендации специалистов выражать его через скорости распространения волн, поскольку они однозначно связаны с любой упругой характеристикой породы.

В работе размеры этой зоны, где отмечается фазовое и временное разрешение, М.И. Шуйфер ориентировочно определяет величиной $(0,25 - 0,5) \cdot \lambda_p$. Здесь λ_p – длина продольной волны, что согласуется с представлениями В.Н. Мосинца, В.Ф. Богацкого о размерах этого параметра, который равен

$$r_u = v_p^u \cdot T_{u+},$$

где T_{u+} – продолжительность положительной фазы волны напряжений (равная четверти видимого периода колебаний T_g); v_p^u – скорость распространения упругопластической волны на упругой границе.

Таким образом $r_u \approx 0,25 \cdot \lambda_p$.

Однако очевидно, что достоверность расчетных показателей целиком зависит от правильности подбора коэффициента пропорциональности с возможно полным учетом реальных характеристик породы. Кроме того, из практики известно, что начальные параметры сейсмических волн (в частности размеры зон необратимых деформаций, период колебаний) с ростом массы одновременно взрывающегося заряда увеличиваются непропорционально, т.е. их функциональные зависимости от массы ВВ, изначально или с увеличением масштаба взрыва до определенных пределов, становятся нелинейными.

Рассмотрим методики нахождения размеров зоны необратимых деформаций (полости, зоны дробления и зоны радиальных трещин), предложенных Родионовым В.Н. и Садовским М.А. (в части определения радиуса полости) по следующим формулам:

а) радиус полости

$$r_n = \frac{0,61 \cdot \mathcal{E}_{\text{вв}}^{1/3}}{(\rho \cdot v_p^2 \cdot \sigma_{\text{сж}}^2)^{1/9}}, \quad (1)$$

где $\mathcal{E}_{\text{вв}}$ – энергия ВВ, кДж/кг; ρ – плотность породы, кг/м³; v_p – скорость продольно волны, м/с; $\sigma_{\text{сж}}$ – прочность породы на сжатие, кг/см².

По В.Н. Родионову;

а) радиус полости:

$$r_n = \left(\frac{P_o}{\sigma_{\text{сж}}} \right)^{0,266} \cdot r_z, \quad (2)$$

где P_o – начальное давление продуктов детонации, Па; $\sigma_{\text{сж}}$ – прочность породы на сжатие, кг/см².

б) радиус зоны дробления

$$r_{z.op} = r_n \cdot \sqrt[3]{\frac{E}{3 \cdot \sigma_{\text{сж}}}} = 0,693 \cdot r_n \cdot \sqrt[3]{\frac{E}{\sigma_{\text{сж}}}}, \quad (3)$$

где E – модуль упругости.
в) радиус зоны трещин

$$r_{mp} = r_{z.op} \cdot \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma_{\text{сж}}}{\sigma_p}} = 0,707 \cdot r_{z.op} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{\text{сж}}}{\sigma_p}}. \quad (4)$$

Многие специалисты считают, что радиус зоны систематических радиальных трещин можно принимать за радиус излучателя, поскольку он определяет границу зоны необратимых деформаций, когда в среде действуют напряжения, превышающие предел прочности породы на разрыв

$$(\tau_{\text{сд}} \geq \sigma_p). \quad (5)$$

Это положение справедливо в полной мере при взрывании в монолитных горных породах, ненарушенных локальными неоднородностями (и малой пористостью) с идеальным модулем сдвига

$$\sigma_{\text{ид}} = \sigma_{\text{ст}} = \sigma_{\text{д}}.$$

При этом следует помнить, что количество трещин, возникающих в массиве вокруг очага взрыва, обратно пропорционально поверхностной энергии породы, которая уменьшается с уменьшением пластических свойств (и роста коэффициента Пуассона). В реальных (неидеально упругих средах), когда статистический и динамический модули сдвига отличаются друг от друга ($\sigma_{\text{д}} / \sigma_{\text{ид}} < 1$) за счет неоднородностей и пористости, имеет место трещинообразование за пределами зоны систематических радиальных трещин по критерию (5) или по условию разрушения

$$\sigma_r = \frac{1 - \nu}{1 - 2\nu} \sigma_s \quad (6)$$

где ν – коэффициент Пуассона; σ_s – напряжение сдвиговой прочности.

Другими словами, в связи с наличием реально существующего механизма раскрытия местных поверхностей ослабления, разрушения более слабых зерен, объем сейсмического очага (его радиус) может быть больше, чем подсчитанный по формуле (4).

Кроме того, известно, что в скальной породе, практически во всех случаях при взрыве, образуется так называемая зона предразрушений в виде микротрещин случайной ориентации по отношению к вектору движения волны. Они представляют собой область в упругой зоне, где рассеянные микроповреждения образовались при уровнях напряжений меньше критических, но не слились в развитие трещины, т.е. бифуркация (спонтанный переход в новое качественное состояние) уже невозможна. Критическая концентрация этих микродефектов вызывает их активное взаимодействие между собой, проявляя коллективные эффекты за пределами упругой границы, постепенно уменьшаясь по мере удаления от нее. Таким образом, как зона микродефектов (по крайней мере, ее часть) так и зона несистематических трещин должны входить в объем сейсмического очага, уве-

личивая его радиус, рассчитанный по упругому пределу, исходя из критерия (5) и 6). Это положение подтверждается результатами исследований, выполненных И.А. Лучко, В.А. Плаксийем, Н.С. Ремезом и др., из которых следует, что амплитуда смещений в зоне необратимых деформаций с расстоянием (r) уменьшается по закону $r^{-3} - r^{-4}$, но затем не переходит сразу на показатель затухания, соответствующий упругому закону $r^{-1} - r^{-2}$. Имеет место факт постепенного уменьшения показателя затухания от 4 – 3 до 2 – 1, т.е. существует некая переходная (промежуточная) зона, где на этот показатель влияют вышеназванные несистематические трещинообразования и микродефекты, образующиеся при напряжениях меньше критических. В этой зоне и происходит зарождение сейсмических волн с координатами начала движения большими, чем подсчитанный по формуле (4) радиус излучателя. Указанная зона характеризуется меньшими значениями скорости продольных волн, продолжающимся процессом нарастания скорости движения частиц и уменьшения преобладающего периода колебаний. Следовательно, за координату начала движения волны надо принимать величину r_u , согласно формуле (4), скорректированную поправочным коэффициентом K_o , величина которого зависит от физико-механических и упругих параметров среды, и может изменяться от 1,05 до 1,15 и более.

В настоящее время надежные методики оценки величины этого коэффициента для конкретных условий отсутствуют. Можно лишь в скальных породах средней и выше средней крепости рекомендовать ориентировочно принимать $K_o = 1,1$, уточняя, по-возможности, в конкретных условиях взрывания (свойства породы, глубина нахождения источника, масштаб взрыва). Данный фактор неопределенности естественно сказывается на достоверности исходных параметров.

Следует указать на сложность нахождения первого промежуточного параметра – радиуса полости. Полученные по формулам (1) и (2) результаты не всегда совпадают с экспериментальными данными. В связи с этим целесообразно рассмотреть некоторые эмпирические методы, в частности методику „Союзвзрывпрома“. Она базируется на показателе простреливаемости породы (K_{np}) – объеме полости в dm^3 при взрывании 1 кг эталонного ВВ – аммонита плотностью 1 $г/см^3$, сферический радиус которого равен 0,06.

Этот параметр, будучи экспериментально получаемым, для ряда разновидностей скальных пород в литературе приводится не однозначно, а в диапазоне значений. В частности в нормативной литературе для многочисленных разновидностей скальных пород: гранитов средней трещиноватости, плотных железистых кварцитов, плотных серых кварцитов, плотных известняков, песчаников и доломитов VII – IX категорий по СНиПу указаны пределы изменения этого показателя от 2 до 0 $dm^3/кг$; для роговиков, скарнов, гранитоидов, крепких известняков, крупнозернистых и среднезернистых гранитов, крепких доломитов VII–XI категорий названы пределы 0,2–5 $dm^3/кг$ с разницей

в 25 раз. Как видим, пользоваться такими нормативами практически невозможно. Профессор Кутузов Б.Н. для очень крепких кварцитов, отнесенных к X категории по ЕНВР-60 (II категории крепости по Протодьяконову), принимает K_{np} равным 2 $dm^3/кг$. Но для других пород приводит объединенный показатель 4 – 7 $dm^3/кг$ для целого набора категорий по ЕНВР-60 VII – X и категорий крепости по Протодьяконову IV (доломиты известняки) и IV – I (граниты, гранодиорит). Другие авторы приводят иные показатели этого параметра. Таким образом, единая методика нахождения K_{np} отсутствует, а имеющиеся литературные данные могут быть использованы лишь для качественной оценки, т.к. экспериментальный материал различных авторов не систематизирован. Кроме того, определение K_{np} в скальных породах сопряжено с объективными сложностями, влияющими на достоверность результатов: границы полости слабо выражены, искажены трещинами и не поддаются точным измерениям. Отметим, что и методика Родионова не совершенна, в связи с неоднозначностью оценки такого параметра как начальное давление продуктов детонации в формуле (4). В ряде работ даются значения давления при взрыве ВВ типа аммонит плотностью 1 $г/см^3$: во взрывной полости 8,8·10⁹ Па, на фронте ударной волны 5,8·10⁹ Па; для гранулолита такой же плотности эти показатели равны соответственно: 15,1·10⁹ Па и 9·10⁹ Па.

Если следовать рекомендации В.Ф. Носкова, то в расчете надо принимать давление в точке Жуге для промышленных ВВ, что может оцениваться величиной 2,03·10⁹ Па.

При рассмотрении задач по зарождению сейсмических волн с осевой симметрией в работе радиус полости, по рекомендации В.Ф. Носкова, рекомендуется находить из выражения

$$r_n^n = \left[\frac{P_k}{\sigma_{сж}(\gamma-1)} \right]^{1/3} \cdot \left[\frac{P_n}{\sigma_{сж}} \right]^{0,111} \cdot r_3^n, \quad (10)$$

где P_n – начальное давление продуктов детонации; P_k – давление при показателе изэнтропы расширения газов $\gamma = 1,4$; $\sigma_{сж}$ – прочность породы на сжатие.

Поскольку ни одна из вышеизложенных методик нахождения радиуса полости (и других зон необратимых деформаций) не может считаться достаточно надежной и информативной, целесообразно при составлении прогнозов выполнять расчеты, по крайней мере, по двум вариантам: одному по аналитической методике (например, по формуле (1) или (2)) и одному по эмпирическому (например, по методике „Союзвзрывпрома“). Полученные результаты целесообразно сопоставить не только между собой, но и с имеющимися практическими данными. Например, в работе А.В. Михалюк указывает, что в крепких породах максимальный радиус сферической полости со-

ставляет в среднем (1,9–2) r_3 . Несмотря на слишком общую характеристику породы (крепкие породы), все же этот показатель служит известным ориентиром, позволяющим избежать масштабных ошибок при выполнении прогнозных проектов.

В таблицах 1, 2, 3 приводятся результаты сравнительных расчетов параметров зон деформации на основе аналитических и эмпирических моделей.

В таблице 1 приведены сравнительные расчетные параметры зоны дробления и зоны трещин по методике В.Н. Родионова при взрывании зарядов массой 1 кг и 500 кг в различных горных породах, $r_3 = 0,06 \cdot \sqrt[3]{Q}$.

В таблице 2 приведены значения радиусов полости при взрывании сферических (1 кг) и цилиндрических (1 кг/п.м.) зарядов в крепких породах, рассчитанные по методике „Союзвзрывпрома“ (по показателю простреливаемости) $r_3^{сф} = 0,06 \cdot \sqrt[3]{Q_{BB}}$; $r_3^м = 0,018 \cdot \sqrt[3]{Q_{поз}}$.

В таблице 3 приводятся параметры сферических полостей при взрывании в различных породах, при использовании методики „Союзвзрывпрома“, радиус заряда $r_3^{сф} = 0,06 \cdot \sqrt[3]{Q_{BB}}$.

Таблица 1

Сравнительные расчетные параметры зоны дробления и зоны трещин по методике В.Н. Родионова

Порода	Свойства породы				Параметры зон деформации*							
	Плотность ρ , кг/м ³	Предел прочности $\sigma \cdot 10^{-7}$ Па		Модуль упругости $E \cdot 10^{10}$ Па	радиус полости, r_n				радиус зоны дробления, $r_{з.др}$ по формуле (3)***		радиус зоны трещин, $r_{з.тр}$ по формуле (4)****	
		на сжатие	на разрыв		по формуле (1)**		по формуле (2) при $P_0 = 9 \cdot 10^9$		в м	в r_3	в м	в r_3
					в м	в r_3	в м	в r_3				
Гранит $v_p = 5,72$ $v_s = 3,42$ км/с	2600	15,7	0,81	8,0	0,117 0,933	1,95 1,96	0,176 1,390	2,93 2,92	0,973 7,690	16,22 16,16	2,870 23,92	47,83 50,25
Известняк $v_p = 3,20$ $v_s = 1,75$ км/с	2650	7,0-16,0 (ср. 8,35)	0,3-0,5 (ср. 0,4)	5,0	0,153 1,215	2,55 2,55	0,208 1,650	3,47 3,47	1,215 9,640	20,25 20,25	3,925 31,15	65,40 65,44
Доломит $v_p = 5,60$ $v_s = 3,15$ км/с	2700-2800	13,0	0,2-8,1 (ср. 0,505)	8,6	0,122 0,969	2,04 2,22	0,185 1,470	3,08 3,09	1,117 8,870	18,62 18,63	4,000 31,79	66,73 66,79
Мрамор $v_p = 4,25$ $v_s = 2,43$ км/с	2700	7,2-12,0 (ср. 9,6)	1,5-2,4 (ср. 1,45)	5,8	0,139 1,104	2,32 2,53	0,202 1,600	3,38 3,36	1,183 9,369	19,71 19,68	1,857 14,71	30,94 30,90
Песчаник мелкозернистый $v_p = 6,01$ $v_s = 3,53$ км/с	2630	10,27	0,68	9,5	0,127 1,012	2,12 2,13	0,197 1,564	3,29 3,29	1,330 10,56	22,17 22,18	3,66 29,0	60,1 60,9
Песчаник среднезернистый $v_p = 3,68$ $v_s = 2,16$ км/с	2390	8,12	0,54	9,74	0,151 1,200	2,52 2,52	0,210 1,670	3,49 3,50	1,547 12,38	25,78 26,00	4,240 33,96	70,7 71,3
Сланец углистый $v_p = 4,75$ $v_s = 2,60$ км/с	2700	7,72	0,4	3,01	0,143 1,134	2,38 2,38	0,212 1,680	3,54 3,53	1,074 8,510	17,90 17,88	3,330 26,41	55,50 55,48

* числитель при массе заряда 1 кг, знаменатель – 500 кг;
 ** удельная энергия принята для тротила (плотностью 1 г/см³) равной 4220 кДж/кг;
 *** радиусы зоны дробления и трещинообразования рассчитаны с использованием формулы (2) для вычисления r_n

Анализ данных этих таблиц показывает существенное расхождение значений параметров зон необратимых деформаций, получаемых по разным методикам для крепких горных пород. В частности, радиус сферической полости, подсчитанной по методике Садовского (формула (1)) меньше, чем по Родионову (формула (2)), принимая начальное давление $P_0 = 9 \cdot 10^9$ Па в 1,4 – 1,55 раза, при этом с ростом модуля упругости эта разница возрастает. При увеличении массы зарядов до 500 кг эти соотношения практически не изменяются

(таблица 1). Разница в размерах полости между ее радиусом, полученным по (2) и по методике „Союзвзрывпрома“ (таблица 2 и 3), также существенна и находится в пределах 40% и более. В то же время, эта разница между результатами расчетов по формуле (1) и с использованием коэффициента простреливаемости менее значительна (до 10 % больше в последнем случае).

В таблице 4 приводятся расчетные данные по двум аналитическим методикам Родионова и Садовского при взрывании в гранитах, согласно таблице 1,

зарядов массой 1, 500 и 1000 кг, при $r_3 = 0,06 \cdot \sqrt[3]{Q_{BB}}$, ВВ – зерногранулит, $\mathcal{E}_{BB} = 4220$ Дж/кг. В отличие от данных таблицы 1, расчеты по формуле (2) выполнены в трех вариантах в зависимости от принятой величины начального давления.

Таблица 2

Радиусы полости при взрывании сферических и цилиндрических зарядов в крепких породах, рассчитанные по методике „Союзвзрывпрома“

Коэффициент простреливаемости		Радиус полости			
		$r_n^{сф}$		r_n^u	
$K_n^{сф}$, м ³ /кг	K_n^u , м ³ /кг.п.м.	в м.	в r_3	в м.	в r_3
0,0025	0,0033	0,084	1,40	0,0330	1,85
0,0029	0,00395	0,088	1,47	0,0355	1,97
0,0030	0,0039	0,090	1,49	0,0350	1,96
0,0040	0,0052	0,098	1,64	0,0410	2,23
0,0047	0,0061	0,104	1,73	0,0441	2,45
0,0050	0,0065	0,106	1,77	0,0450	2,53
0,0060	0,0078	0,113	1,88	0,0500	2,77
0,0070	0,0091	0,119	1,98	0,0540	2,99
0,0080	0,0098	0,124	2,07	0,0559	3,10
0,0154	0,0178	0,154	2,57	0,0752	4,18

Таблица 3

Параметры сферических полостей при взрывании в различных породах, при использовании методики „Союзвзрывпрома“

Категория пород по СНиП	Коэф. простреливаемости $K_n^{сф}$, м ³ /кг	Радиус полости r_n при взрывании заряда массой, кг					
		1		500		1000	
		в м.	в r_3	r_n , м	r_3 , м	r_n , м	r_3 , м
VIII крепкие песчаники, доломиты и известняки, граниты $f = 8-9$	0,0029	0,088	1,470	0,476	0,700	0,600	0,882
VII граниты, гнейсы, сиениты выветрившиеся, аргиллиты $f = 5-6$	0,0047	0,104	1,730	0,476	0,823	0,600	1,038
VI известняк мергелистый, песчаник глинистый, доломиты $f = 4-5$	0,008	0,124	2,070	0,476	0,985	0,600	1,242
V глинистые и углистые сланцы средней крепости, слабые известняки $f = 3-4$	0,0154	0,154	2,570	0,476	1,223	0,600	1,542

Из таблицы следует, что параметры зон необратимых деформаций по двум методикам наиболее близки при принятии в формуле (2) начального давления в точке Жуге. Этот параметр находится по известной формуле

$$P_{жк} = \frac{\rho \cdot D^2}{4}, \quad (11)$$

где ρ – плотность ВВ, кг/м³; D – скорость детонации, м/с, которая для одного и того же ВВ зависит от плотности, наличия и характера оболочки. Для каждого штатного ВВ является паспортной характеристикой. Но перед использованием уточняется экспериментальным путем.

Для предварительной оценки этого параметра можно воспользоваться следующей формулой

$$D = 31,6 \cdot \sqrt{2(n^2 - 1) \cdot Q_{вв}},$$

где n – показатель политропы для ВВ с плотностью 1 – 1,2 г/см³, приблизительно равный 3; $Q_{вв}$ – теплота взрыва, ккал/кг.

Таблица 4

Сравнительные данные по расчету параметров зоны необратимых деформаций по методикам Родионова и Садовского

Расчетная методика	Параметры зоны необратимых деформаций при взрывании заряда массой:			
	1 кг, $r_3 = 0,06$ м			
	r_n м/ r_3	$r_{3,оп}$ м/ r_3	$r_{3,мр}$ м/ r_3	r_u м/ r_3
В.Н. Родионова при $P_0 = 10^{10}$ Па	0,181 3,020	1,000 16,71	3,110 51,83	-
В.Н. Родионова $P_0 = P_{жк} = 2,03 \cdot 10^9$ Па	0,119 1,980	0,659 10,98	2,050 34,16	-
В.Н. Родионова $P_0 = 9 \cdot 10^9$ Па	0,176 2,930	0,975 16,25	3,030 50,54	-
М.А. Садовского	0,117 1,950	0,648 10,80	2,020 33,59	-
	500 кг, $r_3 = 0,476$ м			
В.Н. Родионова при $P_0 = 10^{10}$ Па	1,440 3,020	7,980 16,76	24,80 52,10	27,30 57,35
В.Н. Родионова $P_0 = P_{жк} = 2,03 \cdot 10^9$ Па	0,942 1,980	5,220 10,96	16,23 34,11	17,85 37,50
В.Н. Родионова $P_0 = 9 \cdot 10^9$ Па	1,390 2,920	7,700 16,18	23,95 50,30	26,35 55,35
М.А. Садовского	0,933 1,960	5,170 10,86	16,10 33,78	17,71 37,21
	1000 кг, $r_3 = 0,60$ м			
В.Н. Родионова при $P_0 = 10^{10}$ Па	1,810 3,020	10,13 16,89	31,50 52,50	34,65 57,76
В.Н. Родионова $P_0 = P_{жк} = 2,03 \cdot 10^9$ Па	1,190 1,980	6,590 10,99	20,49 34,16	22,54 37,57
В.Н. Родионова $P_0 = 9 \cdot 10^9$ Па	1,760 2,940	9,750 16,25	30,32 50,53	33,35 55,59
М.А. Садовского	1,174 1,960	6,500 10,84	20,22 33,70	22,24 37,10

Примечание. При расчете по методике М.А. Садовского приняты такие параметры породы: $\rho = 2600$ кг/м³; $E = 8 \cdot 10^{10}$ Па; $v_p = 5,72$ км/с $\sigma_{сжк} = 15,7 \cdot 10^7$ Па

В качестве примера приведем сравнения расчетных данных из таблиц 1, 3, 4, полученных по различным методикам для трех разновидностей горных пород: песчаников, известняков и сланцев при взрывании заряда массой 500 кг, плотность ВВ – 1 г/см³, радиус заряда – 0,476 м (таблица 5).

Таблица 5

Сравнительные данные по размерам полости в некоторых горных породах с использованием различных методик

Методики расчета	Породы			
	Песчаник $r_n, \text{ м}/r_z$	Известняк $r_n, \text{ м}/r_z$	Сланец $r_n, \text{ м}/r_z$	Гранит $r_n, \text{ м}/r_z$
„Союзвзрывпрома“ по коэффициенту простираемости	$\frac{0,7}{1,47}$	$\frac{0,985}{2,07}$	$\frac{1,223}{2,57}$	$\frac{0,823}{1,73}$
Садовского М.А. по формуле (1)	$\frac{1,2}{2,52}$	$\frac{1,215}{2,55}$	$\frac{1,134}{2,38}$	$\frac{0,933}{1,96}$
Родионова В.Н. по формуле (2) при $P_n = 2,03 \cdot 10^9$ Па	$\frac{1,12}{2,35}$	$\frac{1,018}{2,14}$	$\frac{1,14}{2,39}$	$\frac{0,942}{1,98}$
Родионова В.Н. по формуле (2) при $P_n = 9 \cdot 10^9$ Па	$\frac{1,67}{3,5}$	$\frac{1,65}{3,47}$	$\frac{1,68}{3,53}$	$\frac{1,39}{2,92}$

Примечание: $\sigma_{сж}$ для гранита принят $15,7 \cdot 10^7$ Па, для сланцев $7,72 \cdot 10^7$ Па, для известняков $8,35 \cdot 10^7$ Па, для песчаников $8,12 \cdot 10^7$ Па

Горный удар является следствием изменения напряженного состояния пород при ведении горных работ с появлением мест концентрации упругой энергии, превышающей прочность горной породы, которая, разрушаясь, излучает сейсмические волны, зарождающиеся на внешней границе очага (т.е. разрушенного массива породы). Считается, что горный удар является результатом разрушения предельно напряженной части массива в зоне влияния горных выработок, возникающего в условиях, когда скорость изменения напряженного состояния в этой части массива превышает скорость релаксации напряжений в ней.

Согласно классификации Е. И. Шемякина горные удары подразделяются на 8 категорий в зависимости от общей энергии: I – II – слабые (энергией до 10^4 – 10^5 Дж), III – V – сильные, очень сильные, мощные (энергией 10^5 – 10^7 ; 10^7 – 10^8 Дж) и VI особенно мощные (энергией 10^8 – 10^9 Дж).

Соответственно, объем зоны проявлений III – V категории составляют от 1200 до 26000 м³, а особенно мощные – до 120000 м³. Последние две категории (энергией свыше 10^9 и до $6,3 \cdot 10^{10}$ Дж) в настоящей работе рассматриваться не будут, т.к. их возникновение при разработке угольных месторождений мало вероятно. Существуют различные классификационные подходы к оценке удароопасности: по скорости продольной волны в породе (при $v_p \geq 4500$ м/с склонность к горным ударам оценивается как большая), по методу Дворака (зависимость динамического модуля

упругости и коэффициента Пуассона, скоростей продольных и поперечных волн – фактор $G_d \approx v_d$), по шкале сейсмической активности (сейсмической эмиссии), по энергетическим критериям и т.п. Данный вопрос заслуживает специального рассмотрения.

Радиус излучателя при горном ударе (радиус очага, т.е. r_u) получим, если будет известна удельная потенциальная энергия породы в Дж/м³.

Разделив полную энергию (согласно классификации Е.И. Шемякина) ($\mathcal{E}_{оч}$) на удельную энергию ($\mathcal{E}_{оч}^{уд}$) получим объем породы в очаге ($V_{оч}$) и, приняв сферическую конфигурацию, получим r_u (м), равный

$$r_u = \sqrt[3]{\frac{V_{оч}}{4,19}} = 0,62 \cdot \sqrt[3]{V_{оч}}$$

Потенциальную энергию очага, зависящую от прочностных ($\sigma_{сж}$) и упругих (E, ν) характеристик породы, находим по следующим формулам [1]

$$\mathcal{E}_{оч}^{уд} = \frac{1-2\nu}{6E} \cdot \sigma_{сж}^2 + \frac{1+\nu}{3E} \cdot \sigma_{сж}^2$$

Параметры $E, \nu, \sigma_{сж}$ получают экспериментальным путем, либо заимствуют из справочных пособий. Экспериментально определить упругие параметры можно путем регистрации компонент тензора напряжений $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3 \neq 0$, тогда коэффициент Пуассона будет равным $\nu = \sigma_2 / (\sigma_1 + \sigma_2)$, а модуль Юнга $E = (\sigma_1 - 2 \cdot \nu \cdot \sigma_2) / \epsilon$ и при необходимости модуль объемного сжатия $K = \sigma_1 \cdot (1 + \nu) / 3 \cdot \epsilon_1 \cdot (1 - \nu)$.

Наибольшее сжимающее напряжение может быть принято равным $\sigma_{сж}$, а остальные находим расчетным путем

$$\sigma_2 = \sigma_3 = \frac{\nu}{1-\nu} \cdot \sigma_1$$

Деформации также регистрируются в лабораторных условиях и, согласно А.А. Вовку, $\epsilon_1 \neq \epsilon_2 = \epsilon_3 = 0$.

Для предварительной оценки можно воспользоваться приведенным в нормативной литературе значением относительной деформации типичных горных пород за пределами упругости, т.е. на границе очага, равной $\epsilon_0 = 0,0002 - 0,0003$.

Выполненные авторами данной работы исследования позволяют сформулировать такие **выводы**:

1. Размеры радиуса излучателя (границы упругости), как и других зон необратимых деформаций (полости, зоны дробления), являются функциями свойств пород, энергетических и детонационных свойств ВВ.

2. Из анализа данных таблиц 2 и 5 видно, что расчеты по методике „Союзвзрывпрома“ дают несколько заниженные результаты, а по методике В.Н. Родионова размеры полости по формуле (4) отличаются в 1,5 раза, в зависимости от принятого в расчет начального давления. Удовлетворительно совпадают данные, получаемые по формулам (1) и (2) при принятии в формуле (2) $P_n = 2,03 \cdot 10^9$ Па.

3. Достоверность прогнозных оценок величины радиуса излучателя как при взрывах, так и при горных ударах, зависит от точности исходных параметров свойств породы и характеристик ВВ.

4. Для составления алгоритма движения сейсмических волн необходимо получить начальные значения массовой скорости (U), периода колебаний (T), декремента затухания сейсмических волн, характеризующего интенсивность рассеивания энергии с расстоянием, скоростей продольных и поперечных волн, что являются самостоятельными задачами и в данной работе не рассматриваются.

Список литературы / References

1. Chudek M. Geomechanika z podstawami ochrony srodowiska gorniczego i powierzchni terenu / Chudek M. – Gliwice : Wydawnictwo politechniki Slaskiej, 2002. – 637 p.

Розглянуто методики визначення розмірів зони безповоротних деформацій (порожнини, зони дроблення і зони радіальних тріщин) при вибухах зарядів вибухових речовин (ВР) і методики визначення радіуса випромінювача при гірському ударі. Розміри

цих зон є одними з найбільш важливих початкових параметрів при дослідженні сейсмічних хвиль будь-якого походження. Наведено розрахункові дані і порівняльна характеристика розглянутих методик.

Ключові слова: зона безповоротних деформацій, пружна зона, радіус випромінювача, вогнище вибуху, порожнина, гірський удар

The article considers methodologies of determination of size of zone of irreversible deformations (cavities, zones of crushing and zone of radial cracks) caused by the explosions of charges of explosive materials and methodologies of determination of radius of emitter of a bounce. Size of such zones is one of the most essential initial parameters for research of seismic waves of any origin. Calculation data and comparative description of the considered methodologies are presented.

Keywords: zone of irreversible deformations, resilient zone, radius of emitter, explosion focus, cavity, rock burst

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук О.В. Соляникінім. Дата надходження рукопису 20.04.11.

УДК 622.411.322.004.14:542.943

В.И. Гаврилов, канд. техн. наук, ст. научн. сотр.

Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины, г. Днепропетровск, Украина, e-mail: gawrilov.slawick@yandex.ru

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ВЕДЕНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЛЕКСНОЙ ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ УГОЛЬНОГО МАССИВА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

V.I. Gavrilov, Cand. Sci. (Tech.),
Senior Research Fellow

N.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics of National Academy of Science of Ukraine, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: gawrilov.slawick@yandex.ru

TECHNOLOGICAL DIAGRAMS OF EXTRACTION WORKS WITH APPLICATION OF COMPLEX PREVENTIVE PROCESSING OF COAL BED BY HYDRODYNAMIC METHOD

Приведены технологические схемы безопасного ведения очистных работ на напряженных газонасыщенных крутых пластах, обрабатываемых потолкоуступными лавами. Доказано, что применение гидродинамического способа воздействия на угольные пласты позволяет комплексно влиять на призабойное состояние угольного пласта, что приводит к его дегазации и снижению газодинамической активности. Дана оценка эффективности гидродинамического воздействия по коэффициенту дегазации и количеству выхода угля из скважин.

Ключевые слова: призабойная зона, технологические параметры, метод контроля, технологические схемы

Изучение процессов выброса угля и газа и причин их возникновения, вопросы прогноза их потенциальной опасности, мер предупреждения или ослабления действия, обеспечения безопасности труда горнорабочих и сохранности выработок являются по настоящее время актуальными, так как, несмотря на осуществление различных, порой весьма сложных и

дорогостоящих мероприятий, выбросы происходят и имеют огромную силу.

Чем глубже ведутся горные работы, тем больше опасность выбросов и тем большее количество угольных пластов подвергается воздействию внешних нагрузок и внутреннего давления метана, которым они не в состоянии сопротивляться, что и показано в работах Г.Д. Лидина.

Применяемые в настоящее время нормативные способы дегазации, основанные на бурении из гор-