

УДК 622.026.5

Чан Куанг Хиеу, В.А. Белин

**ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ВЕТРА И ТЕМПЕРАТУРЫ
ВОЗДУХА НА СТЕПЕНЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ УДАРНЫХ
ВОЗДУШНЫХ ВОЛН ПРИ ВЗРЫВАХ СКАЛЬНЫХ
ГОРНЫХ ПОРОД НА УГОЛЬНЫХ КАРЬЕРАХ
ВЬЕТНАМА**

Рассмотрены инженерно-геологические и горнотехнические условия действующих и проектируемых угольных карьеров Вьетнама; совершенствование методов управления энергией взрыва, позволяющих без увеличения энергозатрат достигать требуемой степени дробления пород с одновременным снижением влияния УВВ на окружающую среду, обеспечивающих уменьшение опасной зоны взрыва. Рассматриваемые вопросы являются весьма актуальной научно-практической задачей в условиях Вьетнама.

Ключевые слова: ударные воздушные волны (УВВ), открытая разработка месторождений, угольный разрез, буровзрывные работы, параметры БВР, Вьетнам.

Ударные воздушные волны (УВВ), как и сейсмические колебания грунта и разлет кусков, являются нежелательным побочными эффектами при производстве взрывных работ. Крупномасштабные взрывы на открытых горных работах в карьерах и разрезах приводят к возникновению весьма ощутимых по интенсивности УВВ на больших расстояниях от места взрыва, особенно в тех случаях, когда метеоусловия и рельеф местности способствуют их распространению.

Интенсивность УВВ зависит от эффективности использования энергии ВВ на полезные формы работы и определяется долей энергии взрыва, перешедшей вместе с продуктами детонации в воздушное пространство карьера, и зависит от характера распространения УВВ над поверхностью земли, что характеризуется состоянием атмосферы: плотности, температуры, давления и влажности воздуха, скорости ветра. Как показывает тео-

рия и практика, начиная с определенных расстояний, погодные условия влияют на интенсивность слабых УВВ. Чтобы правильно прогнозировать опасность повреждения сооружения от действия УВВ, необходимо учитывать атмосферные условия во время производства взрывных работ [1].

Карьер «Нуй Бео» расположен на севере Куанг Нинг - Вьетнам края.

Глубина карьера достигает более - 130 м, а откосы уступов представляют собой крутые склоны с углом наклона до 70° в средней и нижней частях и с углом наклона 50-60° в верхней части. Высота бортов карьера в предельном положении достигает 10-20 м [2].

Вблизи места производства взрывных работ на северо-западном участке карьера "Нуй Бео" на расстояниях 100÷500 м расположены жилые дома и другие объекты. Обеспечение сохранности этих комплексов при проведении БВР было одной из наиболее сложных задач сохранения добычи угля на карьерах Вьетнама.

В связи с этим в данной работе проводятся экспериментально-расчетные исследования по определению безопасных параметров УВВ на элементах зданий, жилых домов и других объектов на пути распространения волн при производстве массовых взрывов в весенне-летний и осенне-зимний периоды с учетом климатических условий Вьетнама.

Были осуществлены натурные замеры параметров волн на исследуемых объектах в период с 18.07.07г. по 27.07.07г. с учетом расстояния от площадки взрыва ВВ до места измерения [2].

Как известно [1, 3], интенсивность УВВ (ΔP_f) зависит от приведенного расстояния $\bar{R} = R/\sqrt[3]{Q}$ (м/кг^{1/3}), где R - расстояние от места взрыва до точки измерения (в метрах), Q - мощность взрыва для группы, кг.

Результаты натуральных измерений избыточных давлений ΔP_f УВВ, при проведении БВР на угольных карьерах "Нуй Бео" в летнее и зимнее время 2007 г., представлены в виде кривой в координатах (ΔP_f , \bar{R}) на рис. 1, рассчитывались для условия проведения БВР при стандартной атмосфере ($P_{атм} = 760$ мм.рт.ст., $t = 25$ °С) и в пересчете на тротильный эквивалент ВВ.

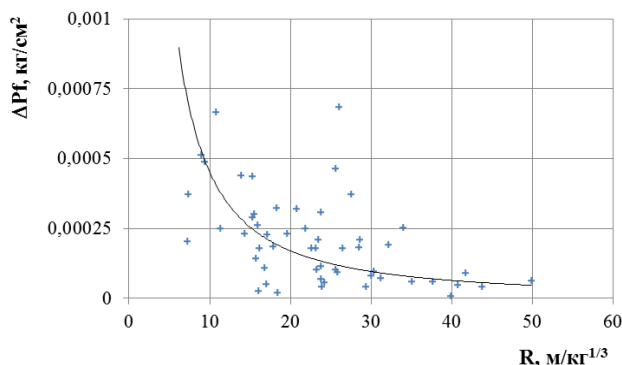


Рис. 1. Величина избыточного давления в зависимости от приведенного расстояния

Анализ и обобщение этих экспериментальных результатов показывают, что величины избыточного давления подчиняются закону:

$$\Delta P_f = 0,0116 \bar{R}^{-1,4} \text{ кг/см}^2$$

$$\text{при } 7 \text{ м/кг}^{1/3} \leq \bar{R} \leq 50 \text{ м/кг}^{1/3} \quad (1)$$

При этом формула (1) соответствует диапазону изменения избыточного давления $20 \leq \Delta P_f \leq 90$ Па.

Тогда из (1) при $\Delta P = \Delta P_{f \text{пор}}$ можно получить следующие зависимости величин мощности подрываемого заряда в зависимости от расстояния:

$$Q_{\text{пор}} = \left(\frac{\Delta P_{f \text{пор}}}{0,0116} \right)^{2,13} \cdot R^3$$

$$\text{при } 90 \geq \Delta P_{f \text{пор}} \geq 20 \text{ Па} \quad (2)$$

Отметим, что учет реальных условий проведения БВР приводит к существенному изменению величины избыточного давления ΔP_f на фронте воздушной волны взрывов. К ним в частности относятся климатические условия местности, наличие ветровых порывов в атмосфере, неоднородности воздушного пространства (градиенты температуры и скорости ветра по высоте атмосферы) и т.д.

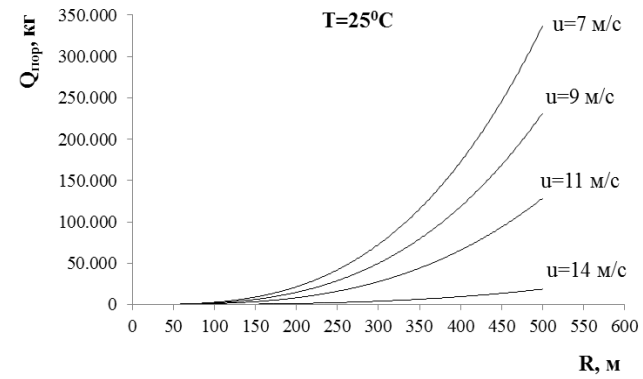
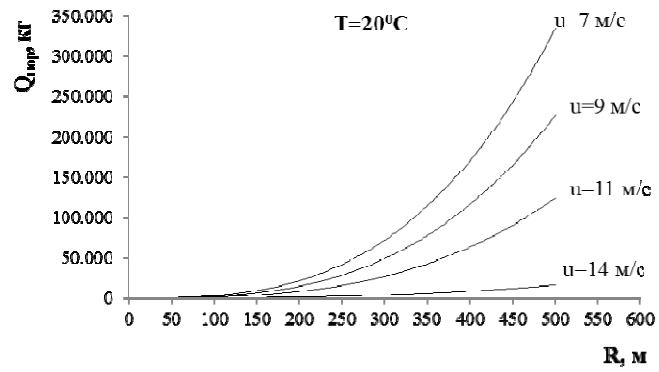
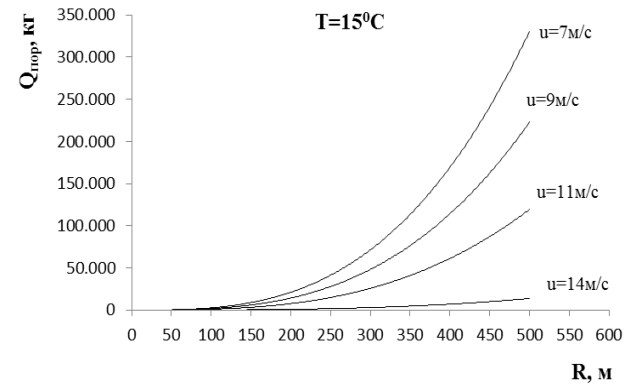
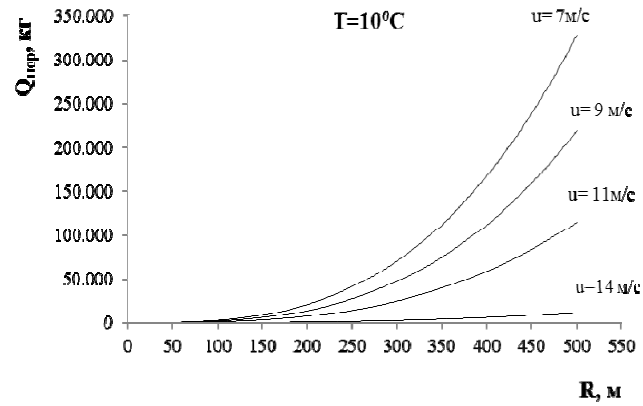
Если погодные условия резко отличаются от условий стандартной атмосферы и для производства взрыва используются отличные от тротила

ВВ, то расчеты интенсивности УВВ, в соответствии с методиками [5, 6] и с учетом (2), проводятся по следующим формулам:

$$\Delta P_{fэ} = 0,0116 \bar{R}^{-1,4} (U/U_{\text{мп}})^{1/6} \times (P/P_{\text{см}})^{1/3}$$

$$\text{при } 7 \text{ м/кг}^{1/3} \leq \bar{R} \leq 50 \text{ м/кг}^{1/3} \quad (3)$$

— где U - удельная энергия взрыва используемого ВВ, $U_{\text{мп}}$ - удельная энергия взрыва тротила, $P = \rho RT$



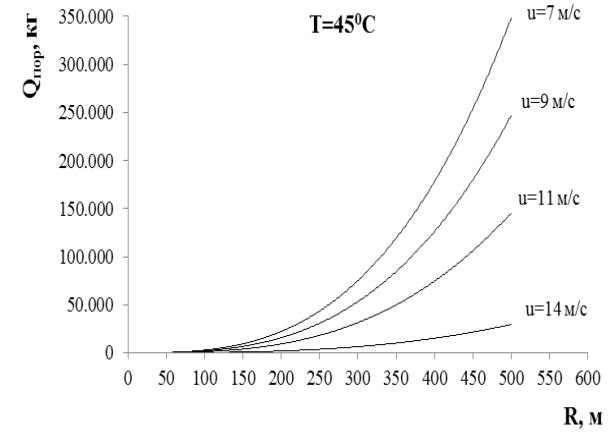
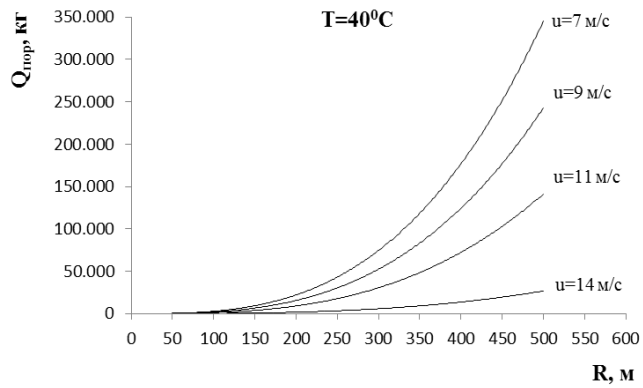
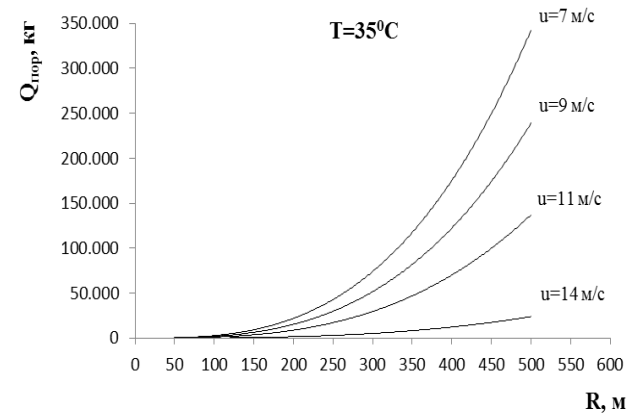
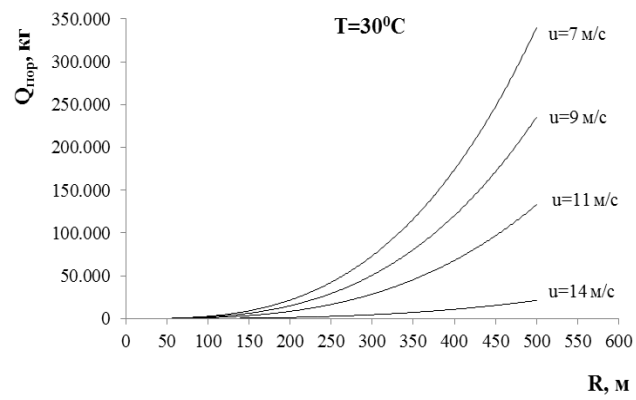


Рис. 2. Пороговые значения допустимой мощности заряда $Q_{\text{порог}}$, кг, в зависимости от расстояния R (зимний и летний)

Пороговые значения допустимой мощности заряда $Q_{\text{пор}}$, кг, в зависимости от расстояния R , м, при $\Delta P_{\text{пор}} = 90$ Па при различных погодных условиях во Вьетнаме

T= 10 ⁰ C, a= 337,5 м/с	R		50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
	u= 7 м/с	$Q_{\text{пор}}$	327	2.620	8.842	20.958	40.934	70.734	112.322	167.665	238.726	327.471
	u= 9 м/с	$Q_{\text{пор}}$	219	1.750	5.905	13.997	27.338	47.241	75.017	111.978	159.438	218.708
	u= 11 м/с	$Q_{\text{пор}}$	71	567	1.914	4.536	8.860	15.310	24.312	36.291	51.672	70.880
	u= 14 м/с	$Q_{\text{пор}}$	0,6	4,5	15	36	71	122	194	290	413	566

T= 15 ⁰ C, a= 340,5 м/с	R		50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
	u= 7 м/с	$Q_{\text{пор}}$	331	2.645	8.928	21.164	41.335	71.427	113.423	169.308	241.066	330.680
	u= 9 м/с	$Q_{\text{пор}}$	223	1.784	6.021	14.272	27.875	48.168	76.490	114.177	162.568	223.002
	u= 11 м/с	$Q_{\text{пор}}$	75	601	2.028	4.808	9.390	16.226	25.767	38.463	54.764	75.122
	u= 14 м/с	$Q_{\text{пор}}$	1,2	9,5	32	76	149	257	408	609	868	1.190

T= 20 ⁰ C, a= 343,4 м/с	R		50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
	u= 7 м/с	$Q_{\text{пор}}$	334	2.670	9.012	21.363	41.724	72.100	114.492	170.904	243.337	333.796
	u= 9 м/с	$Q_{\text{пор}}$	227	1.818	6.134	14.540	28.399	49.073	77.927	116.322	165.622	227.191
	u= 11 м/с	$Q_{\text{пор}}$	79	635	2.142	5.078	9.918	17.138	27.215	40.624	57.842	79.345
	u= 14 м/с	$Q_{\text{пор}}$	2,0	16,2	55	130	254	438	696	1.039	1.479	2.029

T= 25 ⁰ C, a= 346,4 м/с	R		50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
	u= 7 м/с	$Q_{\text{пор}}$	337	2.695	9.094	21.557	42.103	72.754	115.530	172.453	245.543	336.822
	u= 9 м/с	$Q_{\text{пор}}$	231	1.850	6.245	14.802	28.910	49.956	79.329	118.415	168.602	231.279
	u= 11 м/с	$Q_{\text{пор}}$	84	668	2.256	5.347	10.443	18.045	28.655	42.773	60.902	83.541
	u= 14 м/с	$Q_{\text{пор}}$	3,1	24,5	83	196	383	662	1.052	1.570	2.235	3.066

T= 30°C, a= 349,3 м/с	R		50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
	u= 7 м/с	Q _{ноп}	340	2.718	9.174	21.745	42.470	73.389	116.538	173.958	247.686	339.762
	u= 9 м/с	Q _{ноп}	235	1.882	6.352	15.057	29.409	50.818	80.697	120.458	171.511	235.269
	u= 11 м/с	Q _{ноп}	88	702	2.368	5.613	10.964	18.945	30.084	44.907	63.940	87.709
	u= 14 м/с	Q _{ноп}	4,3	34	116	274	536	926	1.471	2.195	3.126	4.288

T= 35°C, a= 352,1 м/с	R		50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
	u= 7 м/с	Q _{ноп}	343	2.741	9.251	21.928	42.827	74.006	117.518	175.421	249.769	342.619
	u= 9 м/с	Q _{ноп}	239	1.913	6.457	15.306	29.895	51.659	82.033	122.452	174.350	239.164
	u= 11 м/с	Q _{ноп}	92	735	2.480	5.878	11.481	19.838	31.503	47.024	66.954	91.844
	u= 14 м/с	Q _{ноп}	5,7	45	153	363	710	1.226	1.948	2.907	4.139	5.678

T= 40°C, a= 355 м/с	R		50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
	u= 7 м/с	Q _{ноп}	345	2.763	9.326	22.105	43.175	74.606	118.471	176.843	251.794	345.397
	u= 9 м/с	Q _{ноп}	243	1.944	6.560	15.550	30.371	52.481	83.338	124.399	177.123	242.967
	u= 11 м/с	Q _{ноп}	96	768	2.590	6.140	11.993	20.724	32.909	49.123	69.943	95.944
	u= 14 м/с	Q _{ноп}	7,2	58	195	462	903	1.560	2.477	3.698	5.265	7.222

T= 45°C, a= 357,8 м/с	R		50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
	u= 7 м/с	Q _{ноп}	348	2.785	9.399	22.278	43.512	75.189	119.398	178.227	253.764	348.099
	u= 9 м/с	Q _{ноп}	247	1.973	6.660	15.788	30.835	53.283	84.611	126.300	179.830	246.680
	u= 11 м/с	Q _{ноп}	100	800	2.700	6.400	12.501	21.601	34.302	51.202	72.903	100.005
	u= 14 м/с	Q _{ноп}	8,9	71	240	570	1.113	1.924	3.055	4.560	6.493	8.906

атмосферное давление во время проведения взрыва, $P_{ст}$ - давление стандартной атмосферы, ρ - плотность воздуха, T - температура воздуха во время проведения взрыва в градусах Кельвина $R=8,31 \cdot 10^3$ Дж/град моль- универсальная газовая постоянная.

Наличие ветра в атмосфере региона при взрывах приводит к дополнительному нагружению элементов охраняемых объектов, так как в данном случае взрывная волна воздействует на предварительно нагруженные ветром потоком части здания и сооружения. Если скорость ветра направлена в сторону жилого массива или сооружения, то результирующее давление, действующее на обращенные к ветру их элементы, определяется сложением ветрового избыточного давления торможения ΔP_B и избыточного давления за фронтом отраженной от стенки здания взрывной волны и имеет вид:

$$\Delta P_{f\partial} = 0,0116 \bar{R}^{-1,4} + \Delta P_e / 2 \text{ кг/см}^2 \quad (4)$$

В (4) выражение для ΔP_e встречного потока на основе формулы скоростного напора [7] представляется в виде:

$$\Delta P_e = P_0 \cdot \frac{\gamma}{2} \cdot \frac{u^2}{a^2} \quad (5)$$

где P_0 - атмосферное давление, γ - показатель адиабаты Пуассона ($\gamma= 1,4$), u - скорость ветра, м/с, a - скорость звука (м/с) определяется по формулам:

$$a = \sqrt{\frac{\gamma RT}{\mu}} = \sqrt{\frac{P_0}{\rho_0}} \quad (6)$$

где T - температура воздуха в градусах Кельвина, $R= 8,31$ Дж/(моль.К), ρ_0 - плотность воздуха, $\mu= 28$.

Из формулы (6) видно, что избыточное давление ветра ΔP_e зависит от

скорости ветра и от температуры воздуха, так как скорость звука в воздухе непосредственно является функцией текущей температуры воздуха.

Учитывая, что пороговое значение эффективной интенсивности воздушной волны $\Delta P_{f\partial} = \Delta P_{f\partial \text{пор}} \leq \Delta P_{f*}$, где

ΔP_{f*} - пороговая амплитуда избыточного давления на фронте взрывной волны без учета ветра, из (2) и с использованием (4) можно получить формулы мощности подрываемого заряда $Q_{\text{пор}}$ зависимости от расстояния R в виде:

$$Q_{\text{пор}} = \left(\frac{\Delta P_{f\partial \text{пор}} - \Delta P_e / 2}{0,0116} \right)^{2,13} \cdot R^3$$

при $90 \geq \Delta P_{f\partial \text{пор}} \geq 20$ Па (7)

Результаты расчетов по определению допустимой мощности взрыва в зависимости от расстояния до охраняемого объекта в случае $\Delta P_{f\partial \text{пор}} = 90$ Па для различных погодных условий, рассчитанные по формуле (7), представлены в таблице.

На основании выполненных экспериментальных исследований и сравнительного анализа результатов натуральных измерений параметров УВВ при взрывах в экспериментально-климатических условиях Вьетнама, получены следующие научные результаты:

- для $\Delta P_{f\partial \text{пор}} = 90$ Па при фиксированном значении скорости ветра $u = 7 \div 9$ м/с с изменением температуры воздуха от $+25$ °С до 10 °С мощность взрыва уменьшается примерно в $1,02 \div 1,1$ раза. а при изменении температуры от $+25$ °С до 45 °С мощность взрыва уменьшается примерно в $1,07 \div 1,2$ раза (из таблицы); необходимо уменьшить мощности взрываемых зарядов ВВ как минимум на $20 - 30$ % при температуре воздуха $T \leq 25$ °С, по сравнению с нормаль-

ным условием стандартной атмосферы;

– при проведении взрывных работ в условиях ветра происходит существенное уменьшение предельно допустимого значения избыточного давления во фронте ударной волны и величины мощности взрыва при различных расстояниях до охраняемых объектов. В частности, в случае $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ из сравнения результатов таблиц 1 видно, что для $\Delta P_{\text{фнор}} = 90 \text{ Па}$ и интервала расстояний $50 \leq R \leq 500 \text{ м}$ при скоростях ветра $u = 7 \div 9 \text{ м/с}$, по сравнению с условием отсутствия ветра ($u \leq 5 \text{ м/с}$), предельно допустимая мощность взрыва уменьшается прибли-

зительно в $1,5 \div 2,2$ раза. При скоростях ветра $u = 9 \div 12 \text{ м/с}$, по сравнению с условием отсутствия ветра ($u \leq 5 \text{ м/с}$), предельно допустимая мощность взрыва уменьшается приблизительно в $2,2 \div 6,2$ раза;

Вывод

Таким образом, из проведенных в данном параграфе расчетно экспериментальных исследований следует, что при проведении массовых взрывов на угольных карьерах "Нуй Бео" в осенне-зимних климатических условиях, когда температура воздуха в регионе $T = 10 \text{ }^\circ\text{C}$, по сравнению с $T = +25 \text{ }^\circ\text{C}$, мощности взрывов необходимо уменьшить примерно на одну треть.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ганопольский М.И., Барон В.Л., Белин В.А., Пулков В.В., Сивенков В.И. Методы ведения взрывных работ специальные взрывные работы. Взрывное дело. 2007.
2. Установление параметров массовых взрывов на угольных карьерах "Нуй Бео", обеспечивающих безопасную эксплуатацию комплекса зданий горнотранспортного предприятия при воздействии сейсмических и воздушных волн, 2007.
3. Совмен В.К., Марьясов А.Л., Кутузов Б.Н., Эквист Б.В., Токаренко А.В. Сейсмическая безопасность при взрывных работах, Взрывное дело 2012. - 225с.
4. Американская техника и промышленность. Сборник рекламных материалов. Выпуск IX. «Горная промышленность», 1978.
5. Барон В.Л. Кантор В.Х. Техника и технология взрывных работ в США. М. "Недра". 1989.
6. Ханукаев А.Н. Физические процессы при отбойке пород взрывом. М., Недра, 1974.-223 с.
7. Кутузов Б.Н. Методы ведения взрывных работ. Ч. 1. Разрушение горных пород взрывом. Учебник для вузов.-М.: Издательство «Горная книга», 2007.- с.431.
8. Siskind DE. Structure Response and Damage produced by airblast from surfacemining// United states Department of the Interior, Bureau of Mines Report of Investigations - 1980-№8485.-Pp.1-111. **ГЛАС**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Чан Куанг Хиеу – аспирант,
Белин Владимир Арнольдович – доктор технических наук, профессор,
Московский государственный горный университет, ud@msmu.ru
Moscow State Mining University, Russia.

