

УДК 622.235.535

**О. А. Вовк, к. т. н., Н. А. Шевчук, к. т. н., К. Н. Ткачук, д. т. н., проф. (НТУУ «КПИ»)**

---

**НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ СЕЙСМОБЕЗОПАСНОСТИ ПОДЗЕМНЫХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ВНЕЗАПНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЯВЛЕНИЯХ**

---

**O. Vovk, cand. of technical science, N. Shevchuk, cand. of technical science, K. N. Tkachuk, doctor of technical science, assos. prof. (NTUU «KPI»)**

**SOME QUESTIONS OF UNDERGROUND AND SURFACE STRUCTURES SEISMIC SAFETY WHILE SUDDEN DYNAMIC MANIFESTATIONS**

*В работе предложена методика нахождения уточненных критических параметров массовой скорости (ускорения) с учётом поправки к нормативным показателям влияния частотно – временной характеристики системы «грунт - сооружение» и методики оценки сейсмоопасности при взрывных технологиях воздействия на зоны концентрации напряжений в призабойном участке угольного пласта и породах кровли.*

**Ключевые слова:** горный удар, сейсмоизлучатель, сейсмический очаг, тротиловый эквивалент.

*В роботі запропонована методика знаходження уточнених критичних параметрів масової швидкості (прискорення) з урахуванням поправки до нормативних показників впливу частотно-часової характеристики системи «грунт-споруда» та методики оцінки сейсмонебезпеки при вибухових технологіях на зони концентрації напруг у при забійній ділянці вугільного пласта та породах покрівлі.*

**Ключові слова:** гірничий удар, сейсмовипромінювач, сейсмічне вогнище, тротиловий еквівалент.

*The method for determining of the parameters specified critical mass velocity (acceleration) considering the amendments to the standard indicators on the impact of time-frequency characteristics of the soil-structure system and methodology for seysmosafety assessing through blasting technologies influence on the seismicunsafety zones of stress concentration at the preslaughtre site of coal bed and roof rock.*

**Keywords:** mining strike, seismic emitter, seismic focus, TNT equivalent.

**Введение.** Горнодобывающие предприятия в процессе ведения подземных горных работ нарушают равновесное состояние силовых гравитационных полей, создавая очаги концентрации напряжений до критических уровней, приводящих к разрушению породы с высвобождением энергии, частично эмитируемой в окружающий массив в виде колебаний. Энергетическая интенсивность этих событий и их сейсмической компоненты часто достаточна для разрушений и повреждений как подземных выработок, так и поверхностных природных и инженерных объектов расположенных на

гипоцентрального расстоянии  $r_c \leq r_0$  в первом и эпицентрального  $r_{эн} \leq r_0$  во втором случае ( $r_0$  - расстояние, безопасное для охраняемых объектов).

Сложность установления связи между параметрами колебаний среды в массиве и на поверхности и окончательной реакцией на них сооружений вынуждает прибегать к эмпирическим либо полуэмпирическим методам их получения с использованием главным образом расчётного аппарата промышленной сейсмологии. До сих пор главным критерием степени сейсмоопасности используется в основном показатель массовой скорости (ускорения), исходя из которого разработана соответствующая нормативная база.

**Целью** исследования является разработка методики нахождения уточнённых критических параметров массовой скорости (ускорения) с учётом поправки к нормативным показателям влияния частотно – временной характеристики системы «грунт - сооружение» и методики оценки сейсмоопасности при взрывных технологиях воздействия на зоны концентрации напряжений в призабойном участке угольного пласта и породах кровли

**Результаты исследований.** Основываясь на этом, изучению и анализу подлежит пять составляющих комплексной проблемы прогнозирования сейсмоопасности горных ударов:

а) получение количественных параметров колебаний волны в начале движения, в частности скорости распространения  $V_p, V_s$ , массовой скорости (ускорения) на упругой границе ( $u_{\max}^H, a_{\max}^H$ ) периода колебаний  $T$ , а также радиуса излучателя  $r_u$ ;

б) получение этих параметров у основания сооружения (контуре подземного объекта);

в) нахождение поправочных коэффициентов прохождения (преломления) на скоростных границах пород с разными акустическими свойствами и коэффициента передачи энергии на границе «грунт-фундамент»;

г) составление шкалы безопасности с учётом поправки на влияние частотно – временной характеристики в виде отношения «m» периодов  $T/T_0$  ( $T_0$  – период собственных колебаний защищаемого объекта);

д) установление границы зоны ( $r_0$ ) за пределами которой обеспечивается сейсмо безопасность объектов, расположенных в горном массиве и на поверхности.

Одним из главных показателей рассматриваемых динамических проявлений является энергия очага возбуждения сейсмоколебаний. При расчётах искомых параметров волны в качестве одной из исходных энергетических оценок сейсмического действия горных ударов используется графоаналитический метод, основанный на допущении об эквивалентности энергии горного удара и ее сейсмической компоненты взрыву тротилового заряда соответствующей массой  $Q_{Т.Э}$ , принимая плотность его равной единице

и удельную энергию  $3,4 \cdot 10^6$  Дж/кг [3]. Принимая величину сейсмической компоненты 2-3% от общей энергии очага будем иметь удельную сейсмическую энергию на упругой границе  $(6,8 - 10,2) \cdot 10^4$  Дж/кг, или в среднем  $8,5 \cdot 10^4$  Дж/кг.

Сейсмический очаг характеризуется следующими энергетическими параметрами:  $\mathcal{E}_{оч}$  - полная энергия очага;  $\mathcal{E}_H^C$  - начальная сейсмическая энергия, принимается равной 2-3% от общей энергии, т.е.:

$$\mathcal{E}_H^C = (0,02 - 0,03)\mathcal{E}_{оч} . \quad (1)$$

$\mathcal{E}_{общ}^{y0}$  - удельная потенциальная упругая энергия породы очага [7]:

$$\mathcal{E}_{общ}^{y0} = \mathcal{E}_o^{y0} + \mathcal{E}_{пл}^{y0} = \sigma_{сж}^2 \left\{ \left( \frac{1-2\nu}{6E} \right) + \left( \frac{1+\nu}{3E} \right) \right\} .$$

(2)

Плотность энергии на упругой границе [1]:

$$\mathcal{E}_s = \frac{\mathcal{E}_H^C}{4\pi r_u^2}, \text{ Дж/м}^2. \quad (3)$$

Удельная энергия на расстоянии ( $r$ ) от очага [1,6]

$$\mathcal{E}_r = 0,625 \rho V_p (u_{\max}^2 \cdot T), \text{ Дж/м}^2, \quad (4)$$

или [1]:

$$\mathcal{E}_r = 1,75 \cdot 10^6 \cdot \mathcal{E}_s \cdot r^{-3,2}, \text{ Дж/м}^2, \text{ где:} \quad (5)$$

$\nu$  - коэффициент Пуассона ;  $E$  – модуль упругости;  $r_u$  - радиус излучателя;  $\rho$  - плотность породы, кг/м<sup>3</sup>;  $V_p$  - скорость продольной волны, м/с,  $u_{\max}$  - массовая скорость в пункте на расстоянии  $r$ .

Поток сейсмической энергии на расстоянии  $r$  от очага  $\mathcal{E}_T$  находится из выражения [1]:

$$\mathcal{E}_T = \mathcal{E}_H^C \cdot 0,7 \cdot e^{-1,75 \cdot 10^{-3} r}. \quad (6)$$

Комплекс задач по оценке сейсмоопасности включает в себя нахождение закономерностей изменения начальных параметров на упругой границе с расстоянием до достижения безопасных для защищаемых объектов предельных значений, фиксируя, таким образом, границу опасной зоны. Очаг следует рассматривать, как источник двух главных разновидностей сейсмических волн (продольных и поперечных), возбуждаемых независимыми сейсмоизлучателями, размеры которых определяют разные упругие границы. Расстояние  $r_g$  получают путем преобразования имеющихся алгоритмов, описывающих изменения динамических, энергетических и силовых

показателей, в функции расстояния, приравнивая их к существующим нормативам критических значений и принимая  $u_{\max} = u_{\text{дон}}$ . Для нахождения начальных показателей массовой скорости ( $u_{\max}^H$ ) в литературе приводится ряд эмпирических и полуэмпирических формул, с той или иной степенью достоверными результатами, в зависимости от многих факторов и, в первую очередь, от соответствия паспортных упругих характеристик ( $E, \nu$ ) и их производных ( $V_p, V_s$ ).

Методы оценки массовой скорости на упругой границе представляют собой функции физико – механических свойств породы очага, отличающиеся по структуре, причиной чего могут служить разные методические подходы и конфигурация сейсмоизлучателя [5] - [7]. Поскольку ни одна из формул не может рассматриваться в качестве универсальной методики, целесообразно выполнить сравнительные расчёты для одинаковых условий, например гранитов, с характеристиками [8]:  $\sigma_{\text{сж}} = 15,5 \cdot 10^7 \text{ Па}$ ,  $G_p = 0,8 \cdot 10^7 \text{ Па}$ ,  $\sigma_{\text{сд}} = 1 \cdot 10^7 \text{ Па}$ ,  $E = 6,6 \cdot 10^{10} \text{ Па}$ ,  $\nu = 0,22$ ,  $\rho = 2600 \text{ кг/м}^3$ . Полученные данные необходимо сравнить с имеющимися показателями, полученными в лабораторных условиях на образцах.

Скорость частиц грунта в объемной волне вдоль луча изменяется по закону [3]:

$$u(\eta) = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \left( \frac{\eta}{Q_{T.Э}} \right)^{-2}, \text{ где:} \quad (7)$$

$K_1$  - коэффициент, учитывающий свойства среды. При движении по гранитам принимается равным 700;  $K_2$  - коэффициент преломления на скоростной границе, равный при наличии одной границы:

$$K_2 = \frac{2\rho_1 V_{p1}}{\rho_1 V_{p1} + \rho_2 V_{p2}}, \text{ где:} \quad (8)$$

$K_3$  - коэффициент отражения от свободной поверхности либо от стенки подземной выработки, при угле падения луча  $\alpha = 0$  этот коэффициент принимается равным 2.

Коэффициент преломления на скоростной границе при падении луча под углом  $\alpha$  к плоскости, разделяющей среды с различными акустическими свойствами:

$$K_{\text{пр}} = \frac{2\rho_1 V'_{p1} (1 - \sin \alpha)}{\rho_1 V'_{p1} (1 - \sin \alpha) + \rho_2 V_{p2}}. \quad (9)$$

При большем количестве скоростных границ, равном  $n$ , общий коэффициент  $K_T$  находим из выражения:

$$K_T = K_1^2 \cdot K_2^3 \cdot \dots \dots \dots K_{n-1}^n. \quad (10)$$

При движении сейсмической волны в однородной среде массовая скорость с расстоянием может также быть вычислена по формуле:

$$u(r) = U_{\max}^H \cdot e^{-\alpha r}, \text{ где:} \quad (11)$$

$\alpha$  - коэффициент поглощения, равный:

$$\alpha = \frac{2\pi}{V_p \cdot T} = \frac{w}{V_p}, \text{ где:} \quad (12)$$

$T$  – период колебаний, в гранитах этот показатель находится из эмпирического соотношения

$$T = 0,0032\sqrt{Q_{T,\text{э}}}, \text{ где:} \quad (13)$$

$w$  - круговая частота, рад.

Основываясь на критерии сейсмической энергии горного удара можно определить величину текущей массовой скорости, используя формулы (4) и (5) [3].

$$U_T = 1,265\sqrt{\frac{\mathcal{E}_r}{\rho V_p \cdot T}}, \text{ где:} \quad (14)$$

$\mathcal{E}_r$  находим из (5).

На контуре подземной выработки скорость колебаний частиц  $U_T^K$  принимаем равной:

$$U_T^K = 2U_T.$$

(15)

Зная величину допустимых скоростей [7], в зависимости от характеристик горных пород и класса расположенных подземных сооружений ( $U_{\text{дон}}$ ) можно установить размеры зоны ( $r_a$ ), опасной для этих сооружений, из выражения в [3]:

$$r_a = \sqrt{\frac{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3}{u_{\text{дон}}} \cdot Q_{m,\text{э}}^{2/3}}, \text{ м} \quad (16)$$

Для поверхностных объектов этот параметр в виде эпицентрального расстояния может быть вычислен по следующей зависимости, учитывающей глубину нахождения очага  $H$  [3]:

$$r_a^{\text{эп}} = \sqrt{\frac{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3}{u_{\text{дон}}} \cdot Q_{m,\text{э}}^{2/3} - H^2}, \text{ где:} \quad (17)$$

$u_{\text{дон}}$  - допустимая скорость колебаний согласно нормативной шкале, скорректированная с учетом временных параметров системы «грунт-сооружение» путем умножения на коэффициент

$$K_m^u = f\left(\frac{T}{T_0}\right) = \frac{u_{\text{дон}}^{\text{эп}}}{u_0}, \text{ где:} \quad (18)$$

$u_0$  - нормативное значение допустимой скорости, см/с;  $u_{\text{дон}}^{\text{эп}}$  - скорректированный показатель массовой скорости у основания фундамента сооружения:

$$u_{\text{дон}}^{\text{эп}} = u_0 \left( \frac{C}{B_{\text{эд}(m)}} \right). \quad (19)$$

Корректирующая функциональная зависимость в правой части выражения (19) частотной характеристики представляет собой соотношение функции

$$C = f(T_0, \varepsilon) \text{ и } B_{\text{зв}(m)} = f(T, T_0, \lambda), \text{ где:} \quad (20)$$

$\varepsilon$  - коэффициент демпфирования;  $\lambda$  - декремент затухания охраняемого здания.

$$C = 11,315T_0^2 / \sqrt{\varepsilon}, \quad (21)$$

$$B_{\text{зв}(m)} = \left[ (1 - m^2)^2 + \left( 4\lambda^2 / (\Pi^2 + \lambda^2) m^2 \right) \right]^{0,5}. \quad (22)$$

В табл. 1 приводятся расчетные нормативные показатели для зданий III категории, скорректированные согласно (18) - (22) при изменении показателя  $m$  от 0,08 до 0,875 и до единицы – т.е. пределов резонансной области и диапазоне периодов собственных колебаний сооружений 0,2-0,4 с.

Таблица 1. Допустимая скорость смещения грунта с учётом частотно-временной характеристики системы «грунт - сооружение», см/с

$T_0, \text{ с}$	$U_0, \text{ см/с}$ согласно нормативам для зданий III категории	$u_{\text{дон}}^{\text{zp}}$ см/с <sup>2</sup> при $\lambda = 0,3$ и следующих значениях $m$ и $T$									
		" $m$ " = $\frac{T}{T_0}$	0,08	0,125	0,25	0,31	0,416	0,5	0,625	0,875	1,0
0,2	T при $T_0 = 0,2$	0,016	0,025	0,05	0,062	0,083	0,1	0,125	0,175	0,2	
	T при $T_0 = 0,3$	0,024	0,0375	0,075	0,093	0,125	0,15	0,188	-	-	
	T при $T_0 = 0,4$	0,032	0,05	0,1	0,124	0,166	0,2	-	-	-	
0,2	7,0	-	4,39	4,15	3,98	3,66	3,36	2,74	1,73	0,85	
	5,0	-	3,14	3,0	2,85	2,61	2,4	1,96	0,89	0,6	
	3,0	-	1,88	1,8	1,7	1,57	1,44	1,18	0,87	0,36	
	2,0	-	1,25	1,2	1,14	1,05	0,96	0,78	0,54	0,24	
	1,0	-	0,63	0,6	0,57	0,52	0,48	0,39	0,28	0,12	
	0,5	-	0,31	0,3	0,28	0,26	0,24	0,19	0,14	0,06	
0,3	7,0	10	9,91	9,42	9,0	8,29	7,59	6,19	-	-	
	5,0	7,15	7,07	6,83	6,42	5,92	5,42	4,42	-	-	
	3,0	4,29	4,25	4,04	3,85	3,55	3,25	2,65	-	-	
	2,0	2,86	2,83	2,69	2,57	2,37	2,17	1,77	-	-	
	1,0	1,73	1,41	1,35	1,28	1,18	1,08	0,88	-	-	
	0,5	0,71	0,71	0,67	0,64	0,59	0,54	0,44	-	-	
0,4	7,0	17,7	17,6	16,74	16,0	14,7	13,46	-	-	-	
	5,0	12,7	12,57	11,96	11,42	10,5	9,61	-	-	-	
	3,0	7,61	7,54	7,17	6,85	6,3	5,77	-	-	-	
	2,0	5,07	5,03	4,78	4,57	4,2	3,15	-	-	-	
	1,0	2,54	2,51	2,39	2,28	2,1	1,92	-	-	-	
	0,5	1,27	1,25	1,19	1,14	1,05	0,96	-	-	-	

Как следует из таблицы, допустимая скорость смещения грунта в зависимости от соотношения « $m$ » может приниматься меньше либо больше нормативных. Так, например, для зданий с  $T_0 = 0,4c$  характерна (при прочих равных условиях) значительно более высокая сейсмостойкость, что позволяет увеличить допустимые скорости более чем в 2 – 2,5 раза по сравнению с предусмотренными действующими нормативными актами. Воспользовавшись данными табл. 1, в качестве примера приведем расчёты влияния временных параметров системы «грунт – здание» на допустимые величины ускорений ( $a_\tau$ ) в сейсмической волне, принимая допущение о гармоническом характере сейсмоколебаний в сопоставлении с данными нормативной шкалы для этих же условий, ограничившись диапазоном значений  $m$  от 0,125 до 0,5 (табл. 2) и нормативных показателей ускорения  $a_H$  (табл. 3), используя соотношение:

$$a = 2\pi U / T . \quad (23)$$

Таблица 2. Допустимые ускорения для зданий III класса при  $\lambda = 0,3$  и  $T_0 = 0,2 - 0,4$

$T_0, c$	$U_0, cm/c$ согласно нормативам для зданий III класса	$a_{дон}^{zp}, mm/c^2$ при $\lambda = 0,3$ и следующих значениях $m$ и $T_0$							
		$m$	0,125	0,16	0,25	0,31	0,416	0,44	0,5
0,2	T при $T_0 = 0,2$	0,025	0,032	0,05	0,062	0,083	0,088	0,1	
	T при $T_0 = 0,3$	0,0375	0,048	0,075	0,093	0,125	0,132	0,15	
	T при $T_0 = 0,4$	0,05	0,064	0,1	0,124	0,166	0,176	0,2	
	7,0	-	1103,0	844,0	521,2	403,1	277,0	257,0	211,0
	5,0	-	787,9	602,9	372,3	287,9	197,9	183,6	150,7
	3,0	-	472,7	361,7	223,4	172,8	118,7	110,1	90,4
0,3	2,0	-	315,1	241,1	148,9	115,2	79,1	73,4	60,3
	1,0	-	157,6	120,6	74,5	57,6	39,6	36,7	30,1
	0,5	-	78,8	60,3	37,2	28,8	19,8	18,4	15,1
	7,0	-	1660,0	1268,0	789,0	607,7	416,5	387,0	318,0
	5,0	-	1185,7	905,7	563,6	434,1	297,5	276,4	227,1
	3,0	-	711,4	543,4	338,1	260,4	178,5	165,9	136,3
0,4	2,0	-	474,3	362,3	225,4	173,6	119,0	110,6	90,9
	1,0	-	237,1	181,1	112,7	86,8	59,5	55,3	45,4
	0,5	-	118,6	90,6	56,4	43,4	29,8	27,6	22,7
	7,0	-	2211,0	1691,0	1051,0	810,0	556,0	518,0	423,0
	5,0	-	1579,3	1207,9	750,7	578,6	397,1	370,0	302,1
	3,0	-	947,6	724,7	450,4	347,1	238,3	222,0	181,3
0,4	2,0	-	631,7	483,1	300,3	231,4	158,9	148,0	120,9
	1,0	-	315,9	241,6	150,1	115,7	79,4	74,0	60,4
	0,5	-	157,9	120,8	75,1	57,9	39,7	37,0	30,2e

Таблица 3. Расчётные нормативные данные по допустимым ускорениям ( $a_H$ ) для зданий III класса в зависимости от величины  $m$  согласно таблице 1 и величина поправочного коэффициента  $K_m$

$T_0, c$		$a_H, мм/с^2 K_m$ при $\lambda = 0,3$ и следующих значениях $m$													
		0,125		0,16		0,25		0,31		0,416		0,44		0,5	
		$a_H$	$K_m$	$a_H$	$K_m$	$a_H$	$K_m$	$a_H$	$K_m$	$a_H$	$K_m$	$a_H$	$K_m$	$a_H$	$K_m$
0,2	7,0	1758,4	0,627	1374	0,61	877,8	0,594	709	0,569	530	0,529	500	0,514	440	0,48
	5,0	1256	0,613	981,3	0,614	628	0,593	506,5	0,568	378,3	0,523	356,8	0,515	314	0,48
	3,0	753,6	0,627	588,8	0,614	376,8	0,593	303,9	0,569	227	0,523	214,1	0,514	188,4	0,48
	2,0	502,4	0,627	392,5	0,614	251,2	0,593	202,6	0,569	151,3	0,523	142,7	0,514	125,6	0,48
	1,0	251,2	0,627	196,3	0,614	125,6	0,593	101,3	0,569	75,7	0,523	71,4	0,514	62,8	0,48
	0,5	125,6	0,627	98,1	0,615	62,8	0,592	50,6	0,569	37,8	0,524	35,7	0,515	31,4	0,48
0,3	7,0	1172,3	1,416	915,8	1,385	586,1	1,346	472,7	1,275	351,7	1,184	333	1,162	293,1	1,085
	5,0	837,3	1,416	654,2	1,384	418,7	1,346	337,7	1,285	251,2	1,184	237,9	1,162	209,3	1,085
	3,0	502,4	1,416	392,5	1,384	245,3	1,378	202,6	1,285	150,7	1,184	142,7	1,163	125,6	1,085
	2,0	334,9	1,416	261,7	1,384	167,5	1,346	135,1	1,285	100,5	1,184	95,2	1,162	83,7	1,086
	1,0	167,5	1,416	130,8	1,385	83,75	1,346	67,6	1,284	50,3	1,183	47,6	1,162	41,8	1,086
	0,5	83,7	1,417	65,4	1,385	41,9	1,346	33,8	1,284	25,1	1,187	23,8	1,16	20,9	1,086
0,4	7,0	879,2	2,51	687	2,461	440	2,39	354,5	2,285	265	2,1	250	2,07	219,8	1,924
	5,0	628	2,435	490,6	2,462	314	239	253	2,287	189,2	2,1	178,4	2,07	157	1,924
	3,0	376,8	2,51	294,4	2,462	188,4	2,39	148,4	2,34	113,5	2,1	107	2,075	94,2	1,924
	2,0	251,2	2,51	196,3	2,461	125,6	2,39	101,3	2,284	75,7	2,1	71,4	2,073	62,8	1,925
	1,0	125,6	2,52	98,2	2,46	62,8	2,39	50,7	2,282	37,8	2,1	35,7	2,073	31,4	1,923
	0,5	62,8	2,51	49,1	2,46	31,4	2,39	25,3	2,3	18,9	2,1	17,9	2,07	15,7	1,92

Как следует из табл. 3 зависимость  $K_m = f(m)$  имеет линейный характер при всех значениях нормативных показателей для сооружений с одинаковым периодом собственных колебаний. Линейный вид соотношений  $a(T_0, m)$  позволяет оценить степень сейсмоопасности по параметру векторной скорости (ускорения) на ограниченном экспериментально-расчётном материале за счёт экстраполяции.

В работе [7] на ряду с (16) предлагается следующая формула для нахождения эпицентрального расстояния по критерию допустимой массовой скорости:

$$r_{без}^{эн} = \sqrt{\frac{K_T \cdot u_{max}^T}{u_{дон} / 2K_{np}^H}} - H^2, \text{ где} \quad (24)$$

$K_T$  – суммарный коэффициент преломления, определяется по (13);  $U_{max}^T$  – текущая максимальная скорость на фронте волны, находится из (17);  $K_{и\delta}^i$  –



коэффициент преломления при прохождении волны из скальной породы в наносы при их мощности, превышающей критическую.

В противном случае влияние наносов не учитывается, и формула (24) примет вид:

$$r_{без}^{эн} = \sqrt{2,91 \left[ K_T \cdot \frac{u_{max}^T}{u_{дон}} \right]^{1,54} - H^2}. \quad (25)$$

Основываясь на критерии энергетических показателей сейсмических колебаний, вызванных горными ударами, радиус безопасной зоны для подземных выработок в окрестностях очага можно находить из выражения [1]:

$$r_0 = \left[ 1,75 \cdot 10^6 \cdot \frac{\mathcal{E}_s}{\mathcal{E}_r} \right], \text{ где:} \quad (26)$$

$\mathcal{E}_s$  - находим из (3) и  $\mathcal{E}_r$  из (4).

При этом в формуле (4) вместо  $u_{max}^2$  принимается  $u_{дон}^2$  для конкретного класса подземной выработки и свойств окружающих ее пород в соответствии с нормативными таблицами.

### Выводы

1. Горные удары эмитируют в окружающий массив сейсмические колебания, опасные для подземных и наземных объектов. Поэтому требуется решить главную задачу, как и в промышленной сейсмике - установить корреляционную связь между параметрами колебаний и реакцией на них защищаемого объекта, приняв за основу один из критериев.

2. В работе предложена методика нахождения уточненных критических параметров массовой скорости (ускорения) с учётом поправки к нормативным показателям на влияние частотно – временной характеристики системы «грунт - сооружение» в виде коэффициента  $K_m$ . На основе этого критерия предложены формулы для установления эпицентрального и гипоцентрального расстояния от очага до границы безопасной зоны.

### Список использованных источников

1. Chudek O. A. Vovk A. A. Kuzmenko. O propagacji energii sejsmiczej przy procesach dynamicznych. // Zeszyty naukowe politechniki śląskiej. Seria: Górnictwo, 2004. - S. 59-69.
2. Vovk O. A. Prediction of rockburst based energy criterion // Coal of Ukraine, 2012, № 3. - 25-27.
3. Chudek M., Kuzmenko A. A., Vovk O. A. O prognozowaniu intensywności sejsmicznego oddziaływania tapniecia // Materiały naukowe Jubileuszowe Międzynarodowe Sympozjum «Geotechnika-Geotechnics 2002». - Chesc 1. - Ustron (RP). - 2002. - S. 195-205.

4. Vovk A. A., Kuz'menko A. A., Vovk O. A.- Parameters of seismic waves in rock bursts // Applied Fluid Mechanics . - 2006 . - Volume 8 (80). - № 2.-S. 18-25.

5. Kuz'menko A. A. - Propagation of seismic waves in a layered massif (A. A. Kuz'menko, T.V. Khlevniuk, O. N. Chala) // News nat. tehničnogo universitetu Ukrainy" Kyivskiy politehničnyi instytut. Seriya "Girnyctvo". SC . scientific works. - Kiev: NTUU "KPI": CJSC "Tehnovybud", 2010. - Preview Issue 19. - P.15- 20.

6. Vovk O. A., Guy A. E., Levankova L. N. Determination of the initial parameters for the study of seismic waves in porous media at blasting and rock bursts // News Natsionalnogo tehničnogo universitetu of Ukraine "KPI". Seriya "Girnyctvo": Collection of scientific prats. - Kiev: NTU "KPI", CJSC "Tehnovibud". - 2005 . - Preview Issue 12. - P. 32-42.

7. Vovk O. O. Vpliv pidzemnih girnichih robit the camp dovkilja (O. O. Vovk, V. M. Isaienko, V. G. Kravets, O. O. Vovk). - K.: Type of NHRI IM. MP Drahomanova. - 2011 . – 543 s.

8. Rodionov V. N. The mechanical effect of underground explosion (V. N. Rodionov, V. V. Adushkin, V. N. Kostjuchenko, V. Nicholas, A. N. Romashov, V. M. Tsvetkov). - Moscow: Nedra , 1971. - 224.

*Стаття надійшла до редакції 26.03.2014 р.*

УДК 624.21 + 624.19(066)

**В. Г. Кравець, д. т. н., С. В. Зайченко, к. т. н. (НТУУ «КПІ»)**

### **ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПРИКОНТУРНОГО ҐРУНТОВОГО МАСИВУ ПРИ РОЛИКОВОМУ УЩІЛЬНЕННІ**

**V. H. Kravets, Doctor of Technical Science, S. V. Zaychenko, Cand. Sc. (Tech.)  
(NTUU «KPI»)**

### **INVESTIGATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE SOIL MASS IN THE MARGINAL ROLLER COMPACTION**

*Досліджено процес формування геотехнічних властивостей приконтурного ґрунтового масиву роликівим методом ущільнення. При дослідженні процесу роликівого формування ґрунтового масиву встановлено, що зона силового впливу розділяється за типом виникаючих деформацій на зону пружних деформацій, зону уповільненої деформації (ядро ущільнення) і зону розвинених пластичних деформацій. Для визначення напружено-деформованого стану зони розвинених пластичних деформацій використано модель Бінгама, що дозволило врахувати в'язкі властивості ґрунтів при їх динамічному навантаженні.*

**Ключові слова:** напружено-деформований стан, контактний тиск, ґрунт, опір зсуву, тунель.

*Исследован процесс формирования геотехнических свойств приконтурного массива роликівим методом уплотнения. При исследовании процесса роликівого формирования ґрунтового массива установлено, что зона силового воздействия разделяется по типу*