

УДК 622.235+622.236.4

**ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ВЕЛИЧИНЫ ЗАХОДКИ ПРИ БУРОВЗРЫВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК****К. Н. Лабинский**Донецкий национальный технический университет  
ул. Артема, 58, г. Донецк, 83001, Украина. E-mail: bootor@gmail.com

Приведены результаты анализа основных параметров паспортов буровзрывных работ на угольных шахтах Донбасса. Проанализировано изменение коэффициента использования шпуров и удельной энергии, затрачиваемой на разрушение породного массива, в зависимости от условного радиуса выработки. Установлен характер изменения напряжений призабойного массива по относительным деформациям датчиков, расположенных в исследуемом массиве. На основании анализа изменения напряжений и скорости распространения продольной волны в призабойной зоне обосновано расположение зоны повышенных напряжений. Это позволило обосновать оптимальную глубину заложения зарядов взрывчатого вещества при проведении выработок по буровзрывной технологии.

**Ключевые слова:** напряженное состояние, буровзрывные работы, глубина заложения заряда, коэффициент использования шпуров, энергия взрыва.

**ОБГРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОЇ ВЕЛИЧИНИ ЗАХІДКИ ПРИ БУРОПІДРИВНІЙ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОВЕДЕННЯ ГІРСЬКИХ ВИРОБОК****К. М. Лабінський**Донецький національний технічний університет  
вул. Артема, 58, м. Донецьк, 83001, Україна. E-mail: bootor@gmail.com

Наведено результати аналізу основних параметрів паспортів буропідривних робіт на вугільних шахтах Донбасу. Проаналізовано зміни коефіцієнта використання шпурів і питомої енергії, що витрачається на руйнування породного масиву, залежно від умовного радіуса виробки. Встановлено характер змін напруги призабойного масиву за відносними деформаціями дивачив, розташованих у досліджуваному масиві. На підставі аналізу змін напруги і швидкості розповсюдження подовжньої хвилі у призабойному просторі обгрунтовано розташування зони підвищеної напруги. Це дозволило обгрунтувати оптимальну глибину закладання зарядів вибухової речовини під час проведення виробок по буропідривній технології.

**Ключові слова:** напружений стан, буропідривні роботи, глибина закладання заряду, коефіцієнт використання шпурів, енергія вибуху.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** Развитие горных работ приводит к постоянному увеличению глубины ведения проходческих работ. При этом усложняются горно-геологические и горнотехнические условия, в которых проводятся выработки. С увеличением глубины возрастает крепость пород и степень их метаморфизма, что не всегда делает возможным применение комбайновой технологии. Поэтому доля выработок, проводимых по буровзрывной технологии, составляет более 60 %. Наличие опасных условий требует применения высокопредохранительных ВВ, обладающих пониженной работоспособностью. Поэтому вопрос энергоэффективности использования высокопредохранительных взрывчатых веществ (ВВ) является актуальной научно-прикладной проблемой.

*Анализ последних исследований и публикаций* показал, что разрушаемые взрывом комплекта шпуров породы находятся в неравновесном напряженном состоянии, что оказывает влияние на действие взрыва шпуровых зарядов ВВ. При этом на больших глубинах породы в силу высокой степени метаморфизма являются более хрупкими, чем на более высоких горизонтах. Поэтому разрушение горных пород при взрыве зарядов ВВ связано с распространением в массиве ударных волн и волн напряжений, возникающих на контакте раздела породы и полости выработки. Известно, что за фронтом ударной вол-

ны, распространяющейся по горному массиву после взрыва заряда ВВ, движется поток частиц породы, и ее разрушение происходит в том случае, если скорость потока частиц за фронтом ударной волны превышает некоторую критическую скорость, определяемую прочностью породы. Однако напряженное состояние массива влияет на скорость распространения ударных волн, что обосновывает необходимость исследования влияния напряженного состояния массива в призабойной зоне на параметры буровзрывной технологии проведения выработок.

Целью работы является обоснование величины заходки при буровзрывной технологии проведения горных выработок на угольных шахтах в условиях восточного Донбасса с учетом перераспределения напряжений в призабойном массиве, находящемся в неравновесном состоянии.

**МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.**

Как известно, впереди забоя выработки формируется зона пониженных напряжений (зона отжима) и зона повышенных напряжений. Однако в большинстве случаев применение существующих методов прогноза проявлений горного давления осложняется отсутствием достоверной информации об исходном напряженно-деформированном состоянии массива и о свойствах горных пород, зависящих от этого состояния.

Одним из решений проблемы прогноза проявлений горного давления было предложено двухэтапное проектирование, когда начальный прогноз корректируется, если свойства пород и напряженно-деформируемое состояние массива отличается от прогнозируемых на первом этапе. Впервые вопрос о необходимости перехода на двухэтапное проектирование при сооружении выработок был поднят в работах [1, 2], а на практике такой подход был реализован при проведении выработок в условиях пучащих пород [3].

Идея упрощенного подхода, позволяющего заменить решение пространственной задачи последовательным решением ряда плоских задач, высказана проф. Г.В. Бабиюком в работе [4]. При этом учет влияния забоя на проявления горного давления при решении плоских задач осуществляется за счет использования функции влияния забоя  $f(L/R)$ , которая может быть вынесена множителем к компонентам поля напряжений. Такой подход для учета влияния забоя при решении плоских задач впервые был предложен в работах [5–7], в которых функция влияния получена по упругим радиальным перемещениям контура круглой выработки, расположенной в гидростатическом поле напряжений, и изменяется от нуля в плоскости забоя выработки до единицы по мере удаления от него, в то время как в реальных условиях напряженно-деформированное состояние массива отличается от гидростатического, а 30 % упругих перемещений реализуются непосредственно перед забоем [8]. Проф. Г.В. Бабиюком предложено определять функцию влияния забоя по нормальным тангенциальным напряжениям, действующим на контуре круглой выработки [9] при неравнокомпонентном нагружении. Однако при получении функции влияния ним рассматривалась только часть массива пород позади забоя выработки, в то время как в опережающей забой части породного массива действуют повышенные напряжения от опорного давления, и в ряде случаев на практике наблюдается разрушение горных пород уже впереди забоя выработки. Кроме того, при проведении выработки некруглой формы (прямоугольной, трапециевидной) распределение напряжений существенно отличается от распределения напряжений на контуре круглой выработки, так как наблюдается их концентрация в области углов.

Таким образом, в призабойном пространстве при проведении выработок по буровзрывной технологии имеет место быть неравновесное состояние горного массива, обусловливаемое изменением напряженно-деформируемого состояния в связи с наличием открытой поверхности, что приводит к формированию зон повышенного и пониженного горного давления, пересекаемых шпурами, что оказывает существенное влияние на распределение энергии взрыва шпуровых зарядов, расходуемой на разрушение горного массива.

Для изучения эффективности ведения взрывных работ по напряженным массивам были проанализированы существующие на шахтах паспорта БВР в забоях горных выработок, проводимых на больших

глубинах. Основные параметры паспортов буровзрывных работ (БВР) позволяют получить данные о величине зарядов ПВВ в шпурах, последовательности их взрывания, удельном расходе ВВ и на основании этих данных сделать вывод о эффективности взрывных работ.

Системному анализу были подвергнуты паспорта БВР, которые использовались или используются на различных шахтах Донбасса при применении ПВВ IV–VI классов как при сотрясательном взрывании на выбросоопасных пластах, так и в обычном режиме взрывания в местах, где разрешено применение ВВ этих классов. Проанализировано 32 паспорта БВР для смешанных и для чистопородных забоев горных выработок, проводимых на глубине свыше 800 м. Данные паспорта охватывают всю изменчивую гамму горно-геологических условий шахт Донбасса. Взрывные работы в этих условиях велись в забоях выработок с сечением (в черне)  $S=5,1-25,1 \text{ м}^2$ , крепостью по шкале проф. М.М. Протодяконова угля  $f=1,0-2,0$  и горных пород  $f=4,0-13,0$ . Для оценки показателей, характеризующих параметры паспорта БВР, исходили из того, что эффективность взрывных работ оценивается с помощью коэффициента использования шпура (КИШ).

Для оценки взаимовлияния пространственного расположения зон напряжений и глубины шпуров была выбрана безразмерная величина – относительная глубина шпуров  $l_0 = \frac{l_{ш}}{R_y}$ , где  $R_y$  – условный радиус выработки,  $R_y = \sqrt{\frac{S_{вч}}{\pi}}$ . При этом эффективность ведения взрывных работ оценивалась по двум показателям: коэффициенту использования шпуров, который определяют по формуле:

$$\eta = \frac{l_{ш} - l_{см}}{l_{ш}} = \frac{l_{зах}}{l_m}, \quad (1)$$

где  $l_{ш}$ ,  $l_{зах}$  – глубина шпура и заходки за взрывание соответственно, м;  $l_{см}$  – глубина «стакана» шпура после взрывания;

и объемной энергии, затрачиваемой на разрушение  $1 \text{ м}^3$  породы:

$$E_{об} = \frac{q_{ВВ} Q_{ВВ} (1 - e)}{f \eta}, \text{ кДж/м}^3,$$

где  $q_{ВВ}$  – удельный расход ВВ на  $1 \text{ м}^3$  взорванной породы,  $\text{кг/м}^3$ ;  $Q_{ВВ}$  – теплота взрыва ВВ,  $\text{кДж/кг}$ ;  $e$  – удельное содержание ингибитора в составе ВВ, долей;  $f$  – крепость породы по шкале проф. М.М. Протодяконова.

Анализ показателей паспортов БВР позволяет сделать вывод о том, что с увеличением относительной длины шпуров по квадратичной зависимости снижается коэффициент использования шпуров  $\eta$  и экспоненциально возрастает удельная энергия, затрачиваемая на разрушение единицы объема горной породы.

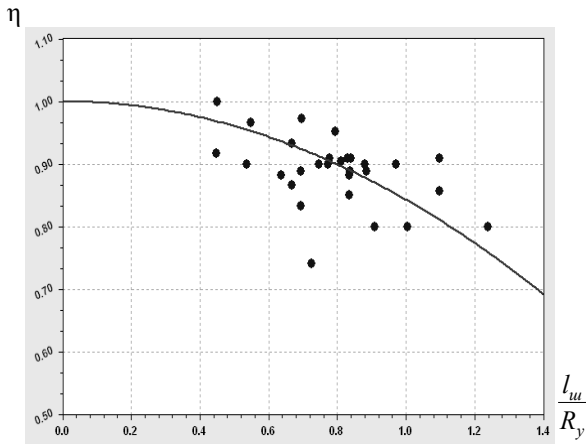


Рисунок 1 – График зависимости коэффициента использования шпуров от относительной глубины шпуров

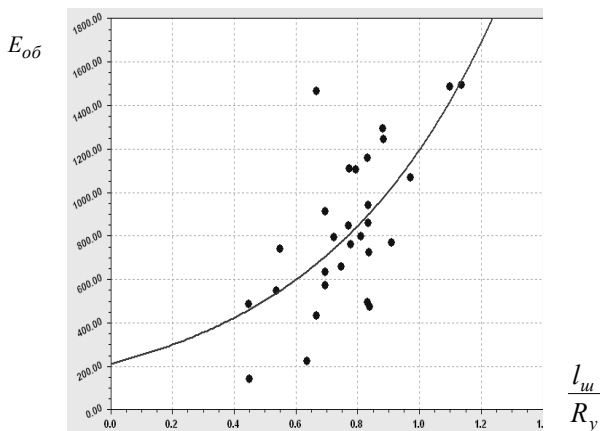


Рисунок 2 – График зависимости удельной энергии от относительной глубины шпуров

$$\eta = 1 - 0.1569 \left( \frac{l_u}{R_y} \right)^2, \quad (2)$$

$$E_{y0} = 212,52 \cdot \exp \left( 1,73 \frac{l_u}{R_y} \right). \quad (3)$$

Таким образом, увеличение относительной длины шпуров приводит экспоненциальному росту затрат энергии, необходимых на разрушение единицы объема горной породы, и геометрическому падению коэффициента использования шпуров, что делает необходимым проведение исследований по определению оптимальной глубины заложения шпуров.

В ряде работ [10, 11] приведены зависимости результатов разрушения горных пород от величины горного давления, которые наиболее отчетливо проявляются в зоне концентраций напряжений, и указывается, что даже при небольших напряжениях сжатия характер разрушения пород взрывом может существенно изменяться. За последнее время исследованы некоторые особенности разрушения напряженных сред взрывом, и показано, что напряженное состояние горного массива оказывает влияние на параметры буровзрывных работ.

При разрушении напряженного массива важное практическое значение имеет отжим, возникающий в плоскости забоя выработки, когда порода стремится сдвинуться в сторону открытой поверхности под воздействием горного давления. В призабойной зоне по оси выработки породы на некотором расстоянии от забоя выработки подвержены растягивающим напряжениям, формирующим зону отжима, которые по мере удаления вглубь массива сменяются на сжимающие. Наличие этой зоны изменяет условия работы взрыва заряда, находящегося в ней.

Шпуры в своем пространственном расположении могут пересекать как зону отжима, так и зону сжатия. Это может оказать влияние на направление действия взрыва и на характер разрушения массива, поскольку с изменением напряжений меняются его свойства.

По результатам исследований напряженно-деформированного состояния массива в призабойной зоне установлено [12], что породы подвержены растягивающим напряжениям на глубину до 0,5 радиуса выработки, за которой следует область сжимающих напряжений.

Однако, помимо зоны растягивающих напряжений, также очень важно знать размеры зоны максимальных напряжений. Очевидно, что при переходе через зону максимальных напряжений суммарный их вектор меняет свое направление: от забоя до этой зоны напряжения «выталкивают» горные породы в забой, при превышении этой зоны суммарные напряжения препятствуют выбросу породы к забою. В работе [10] проводились исследования напряженно-го состояния призабойного массива. Метод шпуровых датчиков по изменению сопротивления жестко закрепленных проволочных датчиков при их относительной деформации под действием напряжений массива позволил оценить изменение напряженного состояния по мере удаления вглубь массива от забоя выработки. График изменения напряжений в зависимости от относительной глубины расположения датчиков представлен на рис. 3.

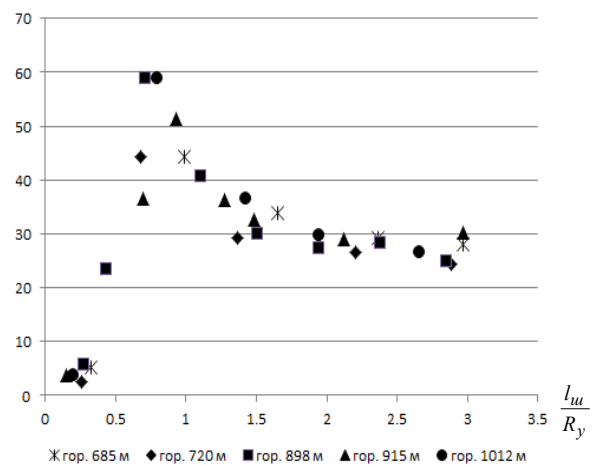


Рисунок 3 – Зависимость напряжений в призабойном массиве от относительного расстояния вглубь массива

Одним из показателей изменения напряжений в массиве является изменение скорости продольной волны. Измерения скорости ультразвуковых волн призабойной части горного массива были проведены авторами работы [10] в забоях семи выработок. Анализ изменения скорости продольной волны в зависимости от относительного расстояния от забоя позволил установить, что изменение скорости продольной волны хорошо описывается полиномом второй степени:

$$V = a \cdot l_0^2 + b \cdot l_0 + c.$$

Таблица 1 – Значения коэффициентов полинома, описывающего изменение скорости продольной волны в напряженном массиве

Выработка	Коэффициенты полинома		
	a	b	c
Канатный ходок ш. № 24 «Донбассантрацит»	-0,6588	1,4168	3,9488
Северная обходная выработка ш. №24 «Донбассантрацит»	-0,6169	1,1263	4,807
Квершлаг 2-у ш. № 1–2 «Донбассантрацит»	-0,9157	1,5612	3,3581
Откаточный штрек ш. № 25 «Свердловантрацит»	-0,2734	0,6029	3,6067
Квершлаг ш. № 10 «Свердловантрацит»	-0,5127	0,9976	3,4703
Откаточный штрек ш. № 81 «Донбассантрацит»	-1,2728	1,8983	3,1965
Откаточный штрек ш. № 40 «Красноармейскуголь»	-0,4226	0,7341	3,4067

Таблица 2 – Значение скорости распространения продольной волны в призабойной зоне

№ выработки	$l_0$	$V_{cp}$ , м/с	У забоя		В зоне максимальных напряжений	
			$V_0$ , м/с	$V_0$ , %	$V_{max}$ , м/с	$V_{max}$ , %
1	1,08	4595	4480	97,5	4710	102,5
2	0,91	5220	5120	98,08	5320	101,9
3	0,85	3885	3750	96,53	4020	103,5
4	1,10	3860	3780	97,93	3940	102,1
5	0,97	3855	3750	97,28	3960	102,7
6	0,75	3795	3690	97,23	3900	102,8
7	0,87	3660	3590	98,09	3730	101,9
Ср.знач.	0,93			97 %		103 %

Анализ результатов показывает, что, в среднем, в зоне отжима скорость распространения продольной волны меньше на 3 %, а в зоне максимальных напряжений больше на 3 % относительно средней скорости. Кроме того, статистический анализ относительной глубины расположения зоны максимальных напряжений  $l_0$  позволяет установить ее среднее значение:

$l_0$	0,93
Стандартное отклонение	0,135
Среднее стандартное отклонение	0,051
Коэффициент Стьюдента (5 %, n-1)	2,447
Доверительный интервал	0,125
Относительная ошибка	0,134

Вполне очевидно, что заряд ВВ, размещенный за пиком максимальных напряжений, находится в более тяжелых условиях, чем заряд ВВ, находящийся перед зоной максимальных напряжений. Это позволяет обосновать максимально эффективную глубину заложения заряда ВВ, как глубину заложения зоны

Значения коэффициентов  $a$ ,  $b$ ,  $c$  для выработок, в которых проводились исследования, представлены в табл. 1.

Анализ уравнений позволил определить значения  $l_0$ , соответствующие максимальной скорости распространения продольной волны, что свидетельствует о глубине заложения зоны максимальных напряжений. Определим процентное изменение скорости продольной волны в призабойной зоне и в зоне максимальных напряжений. Полученные данные занесем в табл. 2.

максимальных напряжений. Оптимальная глубина заложения заряда ВВ должна определяться с учетом условного радиуса выработки из условия  $l_0=0,93$ :

$$l_{зар} = 0,93 \sqrt{\frac{S}{\pi}}. \quad (4)$$

Рассмотрим энергию, необходимую для разрушения породного массива взрывом. Одним из основных свойств, влияющих на затраты энергии по разрушению массива, является его прочность. При испытаниях образцов определяют, чаще всего, пределы прочности на одноосное растяжение и на одноосное сжатие как наиболее полно позволяющие оценивать затраты энергии на разрушение. Таким образом, для разрушения образца породы необходимо приложить к нему нагрузку, превышающую предел прочности образца.

Допустим, разрушаемый массив характеризуется критической энергоплотностью породы  $[\sigma]$ , Дж/м<sup>3</sup>. Таким образом, для разрушения массива заданного объема при проведении горной выработки необходимо приложить энергию  $P$  не менее

$$P \geq [\sigma] V_{\text{зах}} S, \text{ Дж.} \quad (5)$$

При этом любое ВВ характеризуется удельной энергией  $E$ , Дж/кг, затрачиваемой на разрушение породного массива. Следовательно, разрушение массива заданного объема будет происходить при следующем условии:

$$E \cdot m \geq [\sigma] V_{\text{зах}} S, \text{ Дж.} \quad (6)$$

При этом влияние напряженного состояния проявляется следующим образом: на разрушаемый массив действуют напряжения, как помогающие его разрушить (в зоне отжима), так и препятствующие его разрушению (в зоне повышенных напряжений). Окончательно уравнение (6) можно записать в следующем виде:

$$m \geq \frac{([\sigma] - \Delta P_{\text{отж}} + \Delta P_{\text{напр}}) V_{\text{зах}} S}{E}, \text{ кг,} \quad (6)$$

что позволяет оценить массу ВВ, необходимую для разрушения породного массива.

Анализ величины максимальных напряжений в массиве, отнесенных к пределу прочности пород на одноосное сжатие  $\sigma_0 = \sigma_{\text{max}} / \sigma$ , позволил установить, что при превышении глубины ведения работ больше 900 м напряжения, возникающие в призабойной зоне, могут превышать предел прочности на одноосное сжатие (рис. 4). Изменение относительного напряжения массива вне зоны влияния очистных работ достаточно хорошо описывается логарифмической зависимостью, что позволяет сделать допущение о том, что с превышением глубины ведения работ 900 м все породы могут быть разрушены под действием возникающих повышенных напряжений, что позволяет оценивать в первом приближении величину максимальных напряжений в зависимости от глубины заложения выработки по следующей зависимости:

$$\sigma_0 = \frac{1.401}{\left(1 + e^{9.1-0.01H}\right)^{0.576}};$$

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{1.401\sigma}{\left(1 + e^{9.1-0.01H}\right)^{0.576}}. \quad (7)$$

Анализируя данные, представленные на рис. 3, и объем пород, ограниченных контуром горной выработки по периметру и глубиной заложения зоны максимальных напряжений, можно сделать допущение, что объем пород в зоне отжима примерно составляет 0,25–0,35 от всего объема. Это позволяет определить средневзвешенную энергоплотность в разрушаемом объеме  $[\sigma_{\text{срвзв}}]$ , которая примерно равна  $0,7[\sigma_{\text{max}}]$ . Подставляя (7) в (6), с учетом средневзвешенной энергоплотности окончательно получаем минимальную массу расчетного расхода ВВ, необходимого для разрушения объема пород в пределах контура выработки на глубину заложения максимальных напряжений:

$$Q_{\text{расч}} \geq \frac{0.7[\sigma_{\text{max}}] V_{\text{зах}} S}{E} \approx \frac{\sigma_{\text{зах}} S}{\left(1 + e^{9.1-0.01H}\right)^{0.576}}. \quad (8)$$

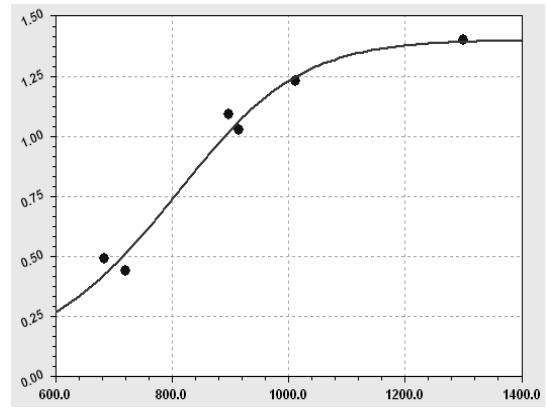


Рисунок 4 – График зависимости относительного напряжения от глубины залегания выработки

Таким образом, учитывая практику ведения взрывных работ на глубоких горизонтах угольных шахт Донбасса, можно сделать вывод о том, что шпуровые заряды пересекают как зону отжима, так и зону повышенных напряжений, что необходимо учитывать при расчете параметров шпуровых зарядов. Если это не обусловлено технологической необходимостью, оптимальная глубина шпуров должна быть такой, чтобы они не пересекали зону максимальных напряжений:  $l_{\text{ш}} = 0,93 \sqrt{\frac{S}{\pi}}$ , поскольку

размещенный за зоной повышенных напряжений заряд будет расходовать энергию не только на разрушение горного массива, но и на преодоление напряжений, «зажимающих» породу вглубь массива. При этом коэффициент использования шпуров составит не менее  $\eta=0,85$ , и масса расчетного расхода ВВ на заходку должна быть не менее значения, определяемого по уравнению (8).

#### ВЫВОДЫ.

1. С увеличением глубины шпуров в условиях шахт Донбасса наблюдается степенное снижение коэффициента использования шпуров и экспоненциальное возрастание удельной энергии, затрачиваемой на разрушение горных пород взрывом.

2. Зона максимальных напряжений, характеризующая также максимальной скоростью распространения продольных волн, располагается на расстоянии 0,93 условного радиуса выработки, что позволяет обосновать оптимальную глубину заложения шпуровых зарядов ВВ для условий угольных шахт Донбасса при проведении выработок по буровзрывной технологии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ардашев К.А. Геомеханические основы рационального проектирования и строительства капитальных выработок // Шахтное строительство. – 1978. – № 1. – С. 9–13.
2. Область применения замкнутых конструкций крепи капитальных выработок / Г.Г. Литвинский, Г.В. Бабиюк // Шахтное строительство. – 1980. – № 9. – С. 13–16.
3. Двухстадийное проектирование проведения

выработок в условиях пучащих пород / Г.Г. Литвинский, Г.В. Бабиюк, Б.Н. Даниленко // Шахтное строительство. – 1983. – № 2. – С. 16–20.

4. Бабиюк Г.В. Моделирование геомеханических процессов в зоне влияния забоя горной выработки // Проблемы и перспективы освоения подземного пространства крупных городов: II-я международная конференция: сбор. научн. статей. – Днепропетровск: НГА Украины, 1997. – С. 92–95.

5. Давыдова Н.А. Приближенное решение задачи о смещении бесконечной цилиндрической полости, нагруженной жестким кольцевым штампом конечной длины // ФТПРПИ. – 1968. – № 3. – С. 24–29.

6. Scholtès, L., & Donzé, F. V. (2013). A DEM model for soft and hard rocks: Role of grain interlocking on strength. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 61(2), 352–369.

7. Kwasniewski, M., & Lydzba, D. (Eds.). (2013). *Rock Mechanics for Resources, Energy and Environment*. CRC Press.

8. Механика скальных пород – Felsmechanik:

[Grundlagen für wirtschaftliches Bauen im Fels] / В. Витке: пер. с нем. Т.И. Зайцева, Л.С. Церапиер – М.: Недра, 1990. – 439 с.

9. Бабиюк Г.В. Оценка функции влияния забоя для прогнозирования проявлений горного давления в выработке с помощью решения псевдопространственных задач // Вестник МАНЭБ. – 1999. – № 10 (22). – С. 105–108.

10. Взрывные работы на глубоких горизонтах шахт / Минделли Э.Ф., Вайнштейн Л.А., Демчук П.А. – Донецк: «Донбасс», 1971. – 96 с.

11. Фугзан М.И. Изучение действия взрыва в предварительно напряженной среде // Физико-технические исследования разработки и обогащения руд. – М.: Изд. Ин-та физики Земли АН СССР, 1973. – С. 29–39.

12. Геофизические методы исследования выбросов горных пород / В.Т. Глушко, А.Н. Зорин, В.В. Червинский // Выбросы породы и газа. – К.: Наукова думка, 1971. – С. 83–88.

#### SUBSTANTIATION REPORT ON EFFECTIVE VALUE OF CUT DURING THE MINE WORKINGS USING THE BLASTHOLE DRILLING TECHNOLOGY

**K. Labinskiy**

Donetsk State Technical University

vul. Artyoma 58, Donetsk, 83001, Ukraine. E-mail: bootor@gmail.com

The research results of analysis of basic parameters of blasthole drilling charts in coal mines of Donbass are given in the article. The coefficient of blasthole using and specific energy spent on the rock mass destruction depending on the conditional radius of excavation is analyzed in it. The character of tension changes of the bottomhole massif according to relative deformation of sensors located in the observable massif is established. The location of the high voltage area is grounded on the basis of the analysis of changes of voltage and speed longitudinal wave spreading in the bottomhole area. It allows establishing the best depth of explosive charge laying when the mine workings conducting using the blasthole drilling technology.

**Key words:** strained state, blasthole drilling, charge depth, blastholes efficiency ratio, explosive energy.

#### REFERENCES

1. Ardashev, K.A. (1978), “Geomechanical basics of rational design and building of the capital workings”, *Mine building*, no. 1, pp. 9–13.

2. Litvinsluy, G.G. and Babiyuk, G.V. (1980), “Sphere of application of closed design of lining of capital workings”, *Mine building*, no. 9, pp. 13–16.

3. Litvinsluy, G.G., Babiyuk, G.V., and Danilenko B.N. (1983), “Two-satges design excavations conducting in conditions of heaving rocks”, *Mine building*, no. 2, pp. 16–20.

4. Babiyuk, G.V. (1997), “Modeling of geomechanical processes in the area of influence of mine excavation”, *Problems and perspectives of the development of underground space of big cities: 2nd International conference*, NGA, Dnipropetrovsk, pp. 92–95.

5. Davydova, N.A. (1968), “Approximate solution of the problem of displacement of the infinite cylindrical cavity loaded with a rigid annular stamp of finite length”, *FTRPI*, nn. 3, pp. 24–29.

6. Scholtès, L., & Donzé, F.V. (2013), “A DEM model for soft and hard rocks: Role of grain interlocking on strength”, *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, no. 61(2), pp. 352–369.

7. Kwasniewski, M., Lydzba, D. (Eds.). (2013),

*Rock Mechanics for Resources, Energy and Environment*, CRC Press.

8. Vitke, V. (1990), *Grundlagen für wirtschaftliches Bauen im Fels*, Nedra, Moscow, USSR.

9. Babiyuk, G.V. (1999), “Assessment of the function of face influence for the prediction of rock pressure in mine excavations with the help of solution of pseudo-spatial tasks”, *Vestnik MANEB*, no. 10 (22), pp. 105–108.

10. Mindelli, E.O., Vaynshtein, L.A., and Demchuk, P.A. (1971), *Vzrivnye raboty na glubokih gorizontah shaht* [Explosive works on big depths of mines], Donbass, Donetsk, USSR.

11. Fugzan, M.I. (1973), “Studying of explosion action in prestressed rock” in *Phiziko-tekhnicheskie issledovaniya razrabotki i obogascsheniya rud* [Physical and technical researches of development and enrichment of ore], Institute of Earth Physics of Academy of Sciences of USSR, Moscow, Russia, pp. 29–39.

12. Glushko, V.T., Zorin, A.N., and Chervinskiy, V.V. (1971), “The methods of geophysical research of rock emissions”, *Emissions of rock and gas*, pp. 83–88.

Стаття надійшла 15.04.2014.