

# РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

## MINING

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)

УДК 622.235

DOI: 10.18503/1995-2732-2021-19-3-5-15



## ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ И СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭМУЛЬСИОННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

Хоменко О.Е.<sup>1</sup>, Кононенко М.Н.<sup>1</sup>, Ляшенко В.И.<sup>2</sup><sup>1</sup>Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», Днепр, Украина<sup>2</sup>Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт промышленной технологии», Желтые Воды, Украина

**Аннотация. Постановка задачи (актуальность работы).** В последнее время стали широко внедряться эмульсионные взрывчатые вещества (ВВ) отечественного производства. Они являются более безопасными в эксплуатации и превосходят по своим энергетическим характеристикам тротилосодержащие ВВ. Это является актуальной задачей на современном этапе развития горнодобывающих предприятий мира. **Используемые методы.** Описана технология нового технологического решения по обоснованию и выбору рациональных параметров буровзрывных работ с использованием эмульсионных ВВ при проведении подготовительных выработок. Они включали анализ горно-геологических условий залегания залежи и отработки очистных камер с помощью камерных систем разработки и закладкой выработанного пространства, применяемой технологии буровзрывных работ (БВР) при проведении горизонтальных и наклонных (до 12°) горных выработок и теоретические исследования, которые выполнялись с помощью математического метода моделирования. **Новизна.** Разработана концепция обоснования и выбора рациональных параметров БВР для проведения горизонтальных горных выработок с помощью высокопроизводительного самоходного оборудования и применения эмульсионных ВВ, а также учета их энергетических характеристик и физико-механических свойств пород. **Результат.** Применение эмульсионного ВВ типа «Украинит-П-СА» позволит уменьшить количество шпуров в забое выработки до 12% по сравнению с использованием ВВ типа «Аммонит № 6 ЖВ». Расходы взрывчатых материалов при использовании паспорта БВР при применении ВВ «Украинит-П-СА» уменьшатся до 6%. Эти показатели свидетельствуют о необходимости применения эмульсионного ВВ типа «Украинит-П-СА» при проведении подготовительных и нарезных выработок буровзрывным способом, а также применение на проходческих работах высокопроизводительного проходческого оборудования. Ожидаемый экономический эффект, полученный в результате технико-экономического сравнения по основным статьям калькуляции расходов, свидетельствует о целесообразности внедрения разработанного технологического решения. **Практическая значимость.** Результаты проведенных исследований позволяют снизить себестоимость проведения 1 м выработки до 11%, а также осуществить ресурсосбережение при производстве горнопроходческих работ и увеличить скорость проведения выработок в условиях Частного акционерного общества «Запорожский железорудный комбинат» (ЧАО «ЗЖРК») до 200 м в месяц. Повышается также эффективность добычи рудного сырья для черной и цветной металлургии.

**Ключевые слова:** эмульсионные взрывчатые вещества, паспорт буровзрывных работ, горнопроходческое оборудование, самоходная буровая установка, погрузочно-доставочная машина, зарядная установка.

**Благодарность.** Авторы выражают благодарность В.Ю. Усатому (ЧАО «Запорожский ЖРК»), В.С. Ричко (ПАО «Криворожский ЖРК»), В.Н. Пухальскому (ГП «Восточный ГОК»), А.Х. Дудченку (ГП «УкрНИПИИпромтехнологии») и другим специалистам этих предприятий за содействие во внедрении полученных научных и практических результатов исследований.

© Хоменко О.Е., Кононенко М.Н., Ляшенко В.И., 2021

### Для цитирования

Хоменко О.Е., Кононенко М.Н., Ляшенко В.И. Обоснование технологий и средств для проведения горизонтальных горных выработок с использованием эмульсионных взрывчатых веществ // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2021. Т.19. №3. С. 5–15. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2021-19-3-5-15>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.  
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

# RATIONALE FOR TECHNOLOGIES AND FACILITIES FOR CARRYING OUT HORIZONTAL MINE WORKINGS USING EMULSION EXPLOSIVES

Khomenko O.E.<sup>1</sup>, Kononenko M.N.<sup>1</sup>, Lyashenko V.I.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>National Technical University Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

<sup>2</sup>State Enterprise Ukrainian Research and Design Institute of Industrial Technology, Zhovti Vody, Ukraine

**Abstract. Problem Statement (Relevance).** In recent years, emulsion explosives of domestic production became widely introduced. They are safer in operation and surpass TNT-containing explosives in their energy characteristics. This is an urgent task at the present stage of development of the world's mining enterprises. **Methods Used.** The authors described the technology of a new technological solution for providing the rationale and selecting reasonable parameters for drilling and blasting operations using emulsion explosives during development workings. They included an analysis of the mining and geological conditions of the deposit and the development of stopes using pillar-and-breast systems and backfilling of the worked-out area, the technology of drilling and blasting used when conducting horizontal and inclined (up to 12°) mine workings and theoretical studies, which were carried out using a mathematical modeling method. **Novelty.** The authors developed a concept of providing the rationale and selecting reasonable parameters of drilling and blasting parameters for horizontal mine workings using high-performance self-propelled equipment and the use of emulsion explosives, as well as taking into account their energy characteristics and physical and mechanical properties of rocks. **Result.** The use of emulsion explosives of the Ukrainit-P-SA type will make it possible to reduce the number of holes in the working face down to 12% in comparison with the use of the Ammonit No. 6 ZhV explosives. The consumption of explosives, when using a blasting pattern and the Ukrainit-P-SA explosives, will decrease to 6%. These indicators indicate the need for using emulsion explosives of the Ukrainit-P-SA type, when carrying out preparatory and temporary workings by drilling and blasting, as well as the use of high-performance tunneling equipment in tunneling operations. The expected economic potential, obtained as a result of a technical and economic comparison for the main items of cost calculation, indicates the feasibility of introducing the developed technological solution. **Practical Relevance.** The conducted research contribute to reducing the cost of 1 m of mining to 11%, as well as to saving resources in the production of mining operations and increasing the speed of mining at the Zaporizhzhya Iron Ore Plant private joint stock company (PJSC ZZRK), Ukraine, to 200 m per month. This also contributes to increasing efficiency of extraction of ore raw materials for ferrous and non-ferrous metallurgy.

**Keywords:** emulsion explosives, blasting pattern, tunneling equipment, self-propelled drilling rig, load haul dumper, charging installation.

**Acknowledgement.** The authors express their gratitude to V.Yu. Usaty (Zaporizhzhya Iron Ore Plant PJSC), V.S. Richko (Kryvyi Rih Iron Ore Plant PJSC), V.N. Pukhalsky (State Enterprise Vostochny Ore Mining and Processing Plant), A.Kh. Dudchenko (State Enterprise Ukrainian Research and Design Institute of Industrial Technology) and other specialists of the said enterprises for their support in introducing the scientific and practical results of the research.

## For citation

Khomenko O.E., Kononenko M.N., Lyashenko V.I. Rationale for Technologies and Facilities for Carrying out Horizontal Mine Workings Using Emulsion Explosives. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2021, vol. 19, no. 3, pp. 5–15. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2021-19-3-5-15>

## Введение

Подземная разработка железных руд осуществляется в Украине с применением буровзрывного способа проведения горных выработок. При этом скорость проведения выработок зависит от правильного составления и расчета паспорта буровзрывных работ (БВР) [1]. Для повышения безопасности, а также снижения количества вредных газов, образующихся в результате, в последнее время стали широко внедряться эмульсионные взрывчатые вещества (ВВ) отечественного производства [2–4]. Они являются более безопасными в эксплуатации и превосходят

по своим энергетическим характеристикам тротилосодержащие ВВ [5, 6]. Высокопроизводительное горнопроходческое оборудование и различные методики расчета параметров БВР не принесут существенного эффекта без разработки паспортов БВР с рациональным расположением шпуров в забое, которые учитывают характеристики эмульсионного ВВ [7]. Это является актуальной задачей на современном этапе развития горнодобывающих предприятий [8, 9].

**Цель работы.** Обоснование технологий и средств для проведения горизонтальных горных выработок с помощью высокопроизводительно-

го самоходного оборудования и применения эмульсионных ВВ, а также учета энергетических характеристик взрывчатого вещества и физико-механических свойств пород.

Для реализации цели поставлены следующие задачи:

1. Установить изменения технологических параметров БВР при проведении горных выработок.
2. Обосновать рациональные параметры БВР при применении эмульсионных ВВ.
3. Определить экономическую эффективность разработанного технологического решения.

**Методология.** Поставленные задачи решались комплексным методом, включающим анализ горно-геологических условий залегания залежи и отработки очистных камер с помощью камерных систем разработки с закладкой выработанного пространства, применяемой технологии буровзрывных работ при проведении горных выработок и теоретические исследования, которые выполнялись с помощью математического метода моделирования.

**Теория вопроса.** Анализ технологии проведения выработок. Главным параметром для проектирования паспортов буровзрывных работ при проведении горных выработок является линия наименьшего сопротивления (ЛНС) отбойного шпура и расстояние между шпурами. Далее основным этапом составления паспорта БВР является определение количества шпуров на забой выработки, а также разработка рациональной схемы их расположения. Главным критерием, которым пользуются до сих пор, является количество шпуров на забой, который пропорционален количеству ВВ, необходимого для разрушения определенного объема горной массы.

Теоретические основы разрушения горных пород взрывом широко освещены в исследованиях М.М. Протодяконова, Г.И. Покровского, Э.О. Миндели, Б.Н. Кутузова, М.А. Садовского, В.Н. Родионова и др. Однако до настоящего времени не разработано общепринятой методики расчета основных параметров БВР, которая позволяла бы получать пригодные для практики результаты. Поэтому на сегодняшний день широко используется упрощенная методика, которая сводится к определению рациональной вместимости ВВ в одном шпуре и установленного практикой ее удельного расхода. На основании этих показателей определяется количество шпуров для забоя выработки. Далее выбирают тип вруба, который размещается в основном в геометрическом центре выработки, а в остальной площади сечения распределяют другие

группы шпуров [10, 11].

В условиях ЧАО «ЗЖРК» (г. Днепропетровский, Украина), которое добывает богатую железную руду подэтажно-камерной системой разработки с закладкой, ежегодно с помощью БВР проводится до 23 тыс. м подготовительных и нарезных выработок. Применение на проходческих работах высокопроизводительного самоходного оборудования производства Швеции, Финляндии и Словакии способствует увеличению объемов подготовительных работ до 30 тыс. м в год. Это позволяет ускорить темпы подготовки и нарезки новых блоков. Однако основным сдерживающим фактором, который снижает фактический потенциал горнопроходческого оборудования при проведении горных выработок, является применение нерациональных параметров БВР, а именно применения ВВ, которые имеют меньшую степень завершенности реакции взрывчатого превращения по сравнению с эмульсионными ВВ, что влечет за собой перерасход взрывчатых материалов, увеличение трудоемкости заряжения и, как следствие, снижение темпов проведения горных выработок.

Выполнив анализ применяемых паспортов БВР для проведения откаточных штреков лежачего и висячего боков, можно сделать вывод, что шпуры в забое выработки имеют разные диаметры – 43 или 51 мм, а в качестве ВВ применяется «Аммонит №6 ЖВ», который по сравнению с эмульсионной ВВ типа «Украинит-П-СА» имеет до 30% меньшую степень завершенности реакции взрывчатого превращения. Количество шпуров в забое выработки не изменяется при изменении прочности пород, это говорит о том, что оно выбрано нерационально и параметры БВР обоснованы недостаточно. А применение в качестве горнопроходческого оборудования горных машин от различных производителей может привести к увеличению времени простоев из-за разной их производительности.

**Расчет параметров БВР.** Главным параметром для проектирования паспортов буровзрывных работ при проведении горных выработок является ЛНС отбойного шпура и расстояние между шпурами, которые определяются по следующим выражениям [12]:

$$W = 47 \cdot K_m \cdot K_3 \cdot d_3 \cdot \sqrt{\frac{\Delta}{\gamma \cdot e}}, \quad (1)$$

где  $W$  – линия наименьшего сопротивления отбойного шпура, м;  $K_m$  – коэффициент местных геологических условий;  $K_3$  – коэффициент зажима, равный 0,6 при  $S_{np} < 4 \text{ м}^2$ , 0,7–0,8 – при

$S_{пр} = 4-60 \text{ м}^2$  и  $0,9$  при  $S_{пр} > 60 \text{ м}^2$ ;  $d_3$  – диаметр заряда, м;  $\Delta$  – плотность заряжания,  $\text{т/м}^3$ ;  $e$  – коэффициент работоспособности ВВ, равный  $\frac{380}{P_{ВР}}$

или  $\frac{4316}{Q_{ВР}}$  ( $P_{ВВ}$  – работоспособность ВВ,  $\text{см}^3$ ;

$Q_{ВВ}$  – теплота взрыва,  $\text{кДж/кг}$ );  $\gamma$  – плотность горных пород,  $\text{т/м}^3$ .

$$a = KW, \quad (2)$$

где  $a$  – расстояние между шпурами, м;  $K$  – коэффициент, учитывающий назначение шпура,  $K = 1,0-1,3$  – для отбойных шпуров,  $K = 0,75$  – для контурных шпуров почвы,  $K = 0,85$  – для контурных шпуров кровли,  $K = 0,95$  – для контурных шпуров по бокам выработки.

Шпуровой заряд, особенно если ЛНС совпадает с осью шпура, разрушает породу только в ближайшей к забою части. Донная часть остается в неразрушенной породе в виде так называемого «стакана». Это приводит к тому, что за один взрыв забой выработки продвигается не на полную глубину шпуров. Один из важнейших параметров взрывных работ является длина заходки – подвигки забоя за одно взрывание (за один цикл), при этом  $l_{зах} < l_{ш}$ .

Коэффициентом использования шпуров (КИШ) – это отношение подвигания забоя за одно взрывание до глубины шпура:

$$\eta = \frac{l_{зах}}{l_{ш}}. \quad (3)$$

КИШ – это безразмерная величина, характеризующая эффективность действия взрыва зарядов ВВ, один из основных критериев качества взрыва, правильности выбранной схемы расположения шпуров и удельных расходов ВВ. Нормативное значение КИШ равно  $0,8$ . По данным практики ведения БВР в монолитных породах, с коэффициентом крепости по шкале проф. М.М. Протодяконова  $f = 15-20$  удовлетворительным может считаться КИШ в пределах  $0,75-0,8$ ; в породах средней прочности – до  $0,9$ ; в слабых породах эта величина должна приближаться к единице. В некоторых «стаканах» может оставаться ВВ. Поэтому нельзя бурить шпуры следующего цикла в «стаканы», то есть запрещается их разбуривать, это может вызвать несанкционированный взрыв ВВ с трагическими последствиями. При проектировании БВР рекомендуют следующие значения КИШ: на одну открытую поверхность –  $0,8-0,85$ ; на две –  $0,90-0,95$ . При проведении промышленных испытаний новых

типов ВВ и новых технологий ведения взрывных работ КИШ устанавливают по подвиганию забоя в определенный период времени:

$$\eta = \frac{l_y}{n_{ц} \cdot l_{ш.ср}}, \quad (4)$$

где  $l_y$  – уход забоя выработки в заданный период времени (устанавливается маркшейдерскими измерениями), м;  $n_{ц}$  – количество взрываний за контрольный период;  $l_{ш.ср}$  – средняя глубина шпуров, м.

Глубина шпуров в неустойчивых породах определяется требованиями безопасного проведения работ, на криволинейных участках – требованиями механического порядка, состоящими в обеспечении снижения влияния взрыва на крепление выработок и недопущения увеличения площади сечения более регламентированных норм. В случае, если выработка проводится с заданными темпами проходки, то глубина шпуров

$$l_{ш} = \frac{L}{k \cdot m \cdot n \cdot \eta}, \quad (5)$$

где  $L$  – среднемесячные темпы проведения выработки,  $\text{м/мес.}$ ;  $k$  – количество рабочих дней в месяц, сут;  $m$  – количество рабочих смен по проходке выработки в сутки;  $n$  – количество циклов в смену;  $\eta$  – коэффициент использования шпуров.

Важным условием высокой эффективности проведения выработок является правильный выбор комплекта шпуров, что обеспечивает максимальный коэффициент их использования, который определяет скорость проведения выработок. Рациональные параметры БВР, такие как тип вруба, схема расположения и число отбойных шпуров, тип ВВ и величина заряда, зависят от конкретных горно-геологических условий. В современной практике широко используются типы врубов, которые классифицируются по расположению врубовых шпуров по площади забоя выработки: наклонные врубы (отрывного действия) и прямые врубы (дробящего действия). Последние типы врубов используются при любой прочности пород, но хорошие результаты были достигнуты в крепких монолитных породах. Место расположения вруба оказывает существенное влияние на показатели БВР. Согласно официально действующим на горных предприятиях инструкциям вруб располагают сбоку, сверху, внизу или в центре забоя выработки. После выбуривания врубовых шпуров приступают к бурению отбойных шпуров, основным параметром которых является величина отбиваемого слоя  $W$ , так называемая ЛНС на вновь об-



разованную поверхность. Параметр ЛНС, как правило, уточняется после анализа результатов трех пробных взрывов.

Для обеспечения ухода проходческого забоя горизонтальных и наклонных горных выработок до 3,5 м (и более) разработаны варианты прямых призматических врубов, которые приведены на рис. 1–3.

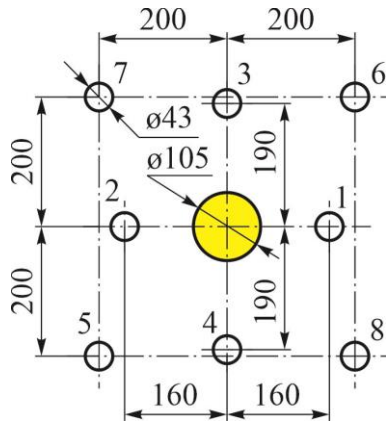


Рис. 1. Вариант призматического вруба с незаряженной скважиной диаметром  $d=105$  мм  
Fig. 1. An option of a box-type cut with an uncharged borehole,  $d = 105$  mm in diameter

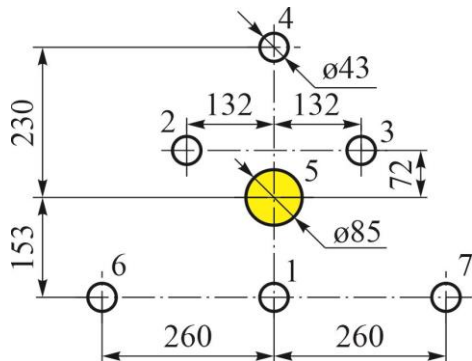


Рис. 2. Вариант призматического вруба со скважиной диаметром  $d=85$  мм  
Fig. 2. An option of a box-type cut with a borehole,  $d = 85$  mm in diameter

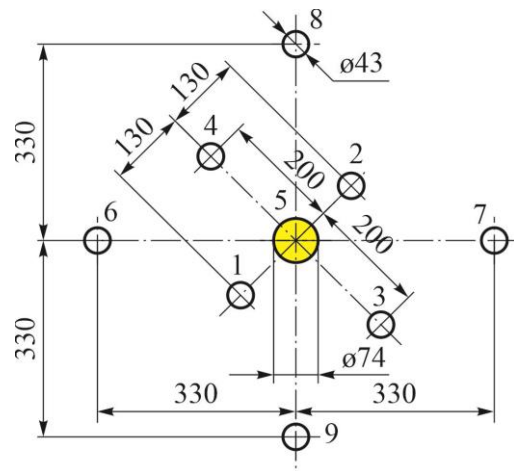


Рис. 3. Вариант призматического вруба со скважиной диаметром  $d=74$  мм  
Fig. 3. An option of a box-type cut with a borehole,  $d = 74$  mm in diameter

Все варианты конструкций призматических врубов построены по расчетным данным согласно табл. 1 и 2. Врубы обеспечены достаточным расчетным компенсационным объемом (скважинами различных диаметров) для работы шпуровых зарядов на разрушение трапецевидных перегородок, который характеризуется коэффициентом компенсационного объема.

Понятие коэффициента компенсационного объема вводится исходя из следующих предположений:

- в естественном ненарушенном состоянии горный массив занимает единицу объема (например,  $1 \text{ м}^3$ );
- в разрушенном состоянии в зависимости от кусковатости единица объема горного массива характеризуется коэффициентом разрыхления, который может изменяться от 1,55 до 3;
- в горном производстве коэффициент разрыхления единицы объема горного массива в зависимости от кусковатости изменяется от 1,5 до 1,8;

Таблица 1. Предельные расстояния между осями заряженного шпура и компенсационной скважины (шпура) в прямом врубе

Table 1. Limit distances between the axes of a charged borehole and a perimeter hole (borehole) in a box-type cut

Диаметр компенсационной скважины (шпура), мм	Диаметр заряженного шпура, мм	Диаметр патрона, мм	Предельные расстояния между осями шпура и компенсационной скважиной (шпуром), мм
105	40	32	189
85	40	32	153
74	40	32	133
65	40	32	117
57	40	32	103

Таблица 2. Технологические параметры и конструктивные элементы вариантов прямых врубов  
Table 2. Process parameters and structural elements of box-type cut options

Элементы конструкции врубов	Варианты конструкций прямых врубов						
	1	2	3	4	5	6	7
Количество компенсационных скважин $N_{к.с.}$ , ед.	1	1	1	2	2	2	2
Диаметр скважины $d_{к.с.}$ , мм	105	85	74	74	65	65	65
Длина компенсационной скважины $l_{к.с.}$ , м	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8
Количество врубовых шпуров $N_{в.ш.}$ , ед.	4	4	4	4	5	4	3
Диаметр врубовых шпуров $d_{в.ш.}$ , мм	40(36)	40(36)	40(36)	40(36)	40(36)	40(36)	40(36)
Длина врубовых шпуров $l_{в.ш.}$ , м	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Масса подчищающего заряда $Q_3$ , кг	-	0,3	0,3	-	0,2	0,2	0,2
Количество подчищающих зарядов, ед.	-	1	1	-	2	2	2
Диаметр патронов аммонита №6 ЖВ, мм	32	32	32	32	32	32	32

– при коэффициенте разрыхления менее 1,25 идет процесс глубокого зажима, когда горная масса спрессовывается и теряет подвижность, что характеризуется термином «коэффициент зажима». Понятие «большой (глубокий) зажим горной массы» характеризует состояние разрушенного горного массива: уже раскрыты трещины и микротрещины, а горный массив сохраняет форму ограниченного (компенсационного) объема;

– при коэффициенте зажима менее 1,15 колонковые заряды простреливают в случае отсутствия пористости горного массива.

В общем виде единица горного массива при разрушении занимает компенсационный объем, который зависит от степени его дробления и имеющегося свободного объема по исходным условиям.

Для оценки состояния разрушенной горной массы в ограниченном объеме выполнены расчеты коэффициентов компенсационных объемов трех вариантов врубов от изменения компенсационного объема в донной части вруба от количества поочередно взорванных зарядов шпуров при  $l_{ш} > 3$  м для вариантов 1, 2, 3 (рис. 4).

Коэффициенты компенсационных объемов для различных вариантов врубов при взрывах первого заряда врубовых шпуров на компенсационную скважину:  $d = 105$  мм – 2,5;  $d = 85$  мм – 2,14;  $d = 74$  мм – 2,0. При взрыве четвертого врубового заряда коэффициент компенсационного объема составил для компенсационных скважин  $d = 105$  мм – 1,44;  $d = 85$  мм – 1,36;  $d = 74$  мм – 1,34 (см. рис. 4). Из графиков также видно, что работа первых зарядов в донной части вруба на скважины происходит в условиях с избыточным компенсационным объемом, а работа последних врубовых зарядов (четвертых по

замедлению) происходит в условиях со слабым зажимом. При правильно выполненных в процессе бурения предложенных конструкций врубов будут соблюдены вышеописанные условия работы врубовых зарядов и ожидается качественная проработка ими горного массива, что позволит достичь высокого эффекта использования шпуров всего забоя. Выбор наиболее эффективных врубов из предлагаемых вариантов необходимо производить в процессе опытных работ при внедрении паспортов буровзрывных работ в забоях горизонтальных и наклонных горных выработок.

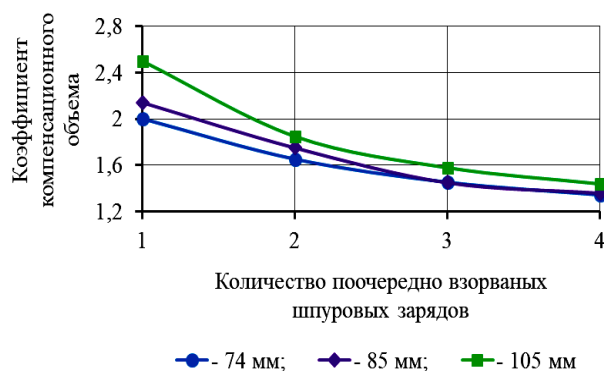


Рис. 4. Графики изменения коэффициента компенсационного объема в донной части вруба от количества поочередно взорванных зарядов шпуров при  $l_{ш} > 3$  м

Fig. 4. Graphs of the change in the coefficient of the compensation volume in the bottom part of the cut versus the number of charges of a blast hole, exploded by turn, at  $l_{ш} > 3$  m

Авторами в работах [13, 14] предлагается следующая последовательность решения основных задач проектирования паспортов БВР с учетом параметра оптимизации размещения шпуров:

1. Определение площадей для размещения различных групп шпуров (врубных, отбойных и контурных шпуров).

2. Определение координат контурных шпуров.

3. Определение координат отбойных шпуров.

4. Проектирование паспорта БВР на основе рассчитанных координат шпуров.

Дальнейшее развитие методики расчета и составления паспортов БВР раскрыты в работах [15, 16] и представлены на доступном инженерном языке. Расчет паспорта БВР для проведения выработок включает в себя следующие основные этапы:

- расчет общего количества ВВ на забой;
- расчет количества шпуров на забой с учетом занятых ими площадей (зон);
- расположение шпуров в забое;
- расчет заряда ВВ на шпур;
- расчет общего фактического расхода ВВ на забой выработки.

Представленная выше методика расчета параметров БВР при проведении горных выработок предназначена для использования тротило-содержащих взрывных материалов (ВМ). Авторами в работах [17, 18] разработана новая методика расчета параметров БВР при проведении подземных горных выработок с использованием эмульсионных ВВ типа «Украинит» (табл. 3). Сущность методики заключается в определении коэффициента относительной работоспособности эмульсионного ВВ типа «Украинит» с уче-

том степени завершенности реакции взрывчатого превращения и реализации скорости детонации, что позволяет определить необходимое количество ВВ на забой. Установленные закономерности позволяют определить скорость детонации в зависимости от плотности и диаметра заряда, которые изменяется по степенному закону. Это позволило авторам усовершенствовать закономерности определения размеров зон смятия и трещинообразования, которые образуются вокруг шпуров с учетом энергетических характеристик эмульсионного ВВ «Украинит» и физико-механических свойств пород.

Расчет и составление паспортов БВР при использовании патронированного ВВ типа «Аммонит №6» ЖВ и «Украинит-П-СА», выполнены для следующих горно-геологических условий: выработка – откатный штрек лежащего бока горизонта 940 м, ширина выработки – 3,75 м, высота выработки – 3,35 м, длина выработки – 500 м, коэффициент крепости пород  $f = 10$ , диаметр шпура – 43 мм, глубина комплекта шпуров – 2,8 м, шахтная бурильная установка – DD311-40, погрузочно-доставочная машина – ЛН409Е.

Выполнив анализ технических показателей паспортов БВР при использовании различных типов ВВ можно сделать вывод, что при использовании ВВ типа «Украинит-П-СА» уменьшается количество шпуров в забое выработки и, соответственно, уменьшается суммарная их длина (табл. 4).

Таблица 3. Физико-химические и взрывчатые свойства патронированных ЭВВ «Украинит-П»  
Table 3. Physicochemical and explosive properties of the Ukrainit-P packaged emulsion explosives

Наименование показателя	Норма		
Контролируемые показатели			
Внешний вид при температуре от 20 до 70°C	Пластичная однородная масса серого или желтого цвета с включениями микросфер		
Плотность при температуре (30 ± 10)°C, г/см <sup>3</sup>	П-С	П-СА	П-П
	1,00–1,30		
Полнота детонации открытого заряда патронированного ВВ диаметром 32 мм от ЕД-8Ж и от 100 г аммонита № 6ЖВ	Полная		
Неконтролируемые показатели			
Кислородный баланс, %	минус 0,3– минус 0,5	минус 0,5– минус 1,5	минус 0,3– минус 1,5
Удельный объем газовых продуктов взрыва, дм <sup>3</sup> /кг	820–840	800–820	840–860
Критический диаметр открытого заряда, мм	20	20	30
Скорость детонации заряда, м/с, не меньше	4900	4800	4400
Чувствительность к удару по ГОСТ 4545: нижняя граница на приборе № 3, мм, больше	500		
Токсичные газы взрыва в пересчете на СО, л/кг	до 15,0	до 25,0	до 20,0

Таблица 4. Технические показатели паспортов БВР при разных ВВ  
 Table 4. Technical data of blasting patterns at different explosives

Показатели	Паспорт БВР	
	Аммонит №6 ЖВ	Украинит-П-СА
Площадь поперечного сечения, м <sup>2</sup>	11,5	11,5
Коэффициент крепости пород <i>f</i>	10	10
Бурильная установка DD311-40, шт.	1	1
Погрузочная машина ЛН409Е, шт.	1	1
Диаметр шпуров, мм	43	43
Число шпуров на цикл, шт.	<b>41</b>	<b>36</b>
Глубина шпуров, м	2,8	2,8
Число шпуро-метров на цикл, м	<b>117,05</b>	<b>103,5</b>
КИШ шпуров <i>η</i>	0,9	0,9
Расход ВВ, кг	<b>14520</b>	<b>13720</b>
Расход ЭД, шт.	<b>8000</b>	<b>7000</b>
Уход забоя за цикл, м	2,5	2,5
Выход породы за цикл, м <sup>3</sup>	28,75	28,75
Расход электроэнергии, кВт·ч	<b>45800</b>	<b>40050</b>
Расход коронок, шт.	36	36
Расход буровой стали, шт.	10	10
Расход анкеров, шт.	2500	2500
Количество смен, смен	200	200

Примечание. Жирным шрифтом выделены отличительные показатели.

Это приводит к уменьшению времени на бурение и зарядание. Расход ВВ, средств инициирования зарядов, а также материалов не превышает 10%. Дальнейшие экономические расчеты, которые выполнялись по основным статьям калькуляции затрат позволили установить, что при проведении полевого откаточного штрека лежачего бока горизонта 940 м с использованием эмульсионного ВВ типа «Украинит-П-СА» позволяет снизить себестоимость проведения 1 м выработки до 11%. Этим решена распространенная проблема современного горного производства при буровзрывной проходке горизонтальных и наклонных (до 12°) горных выработок с помощью высокопроизводительного самоходного оборудования и применения экологически чистых эмульсионных взрывчатых веществ.

При взрывных работах наиболее трудоемким процессом являются доставка ВВ и зарядание шпуров [19, 20]. Зарядание шпуров может быть ручным (патронированным ВВ) и механизированным россыпными или наливными эмульсионными ВВ. При механизированном зарядании применяют зарядчики, допущенные к применению Госназдорхрантруда Украины, при ручном – в шпур патроны ВВ досылают забойником [21, 22]. В насто-

ящее время при проведении горных выработок широкое применение получили транспортно-доставочные машины, которые заменяют комплексы из погрузочного и транспортного оборудования. Транспортно-доставочные машины по сравнению с другими средствами погрузки и транспортировки имеют ряд существенных преимуществ.

На сегодня объемы и масштабы внедрения экологически чистого эмульсионного ВВ «Украинит» значительно увеличились – расширилась география и сфера применения на шахтах Украины: ПАО «КЖРК», ЧАО «Сухая Балка» (г. Кривой Рог) и ООО «Восток-Руда» (г. Желтые Воды), на ЧАО «ЗЖРК», опробованы также первые опытно-экспериментальные зарядания кругового веера скважин (диаметром 89–105 мм и длиной до 30 м), ведутся работы по совершенствованию технологии приготовления компонентов эмульсионного ВВ. При поддержке Госгорпромнадзора Украины и Криворожской горнотехнической инспекции промышленные испытания эмульсионного ВВ «Украинит» будут продолжены на шахтах ПАО «КЖРК» и ГП «ВостГОК» (Украина). Заинтересованность в проведении опытно-экспериментальных работ



по применению эмульсионных ВВ проявляют и другие предприятия с развитыми горнодобывающими комплексами [23, 24].

### Выводы

1. Проведенный анализ технических показателей по выполненным расчетам и составленным паспортам БВР при использовании различных ВВ позволил определить рациональный тип ВВ. Это позволяет применить технологическое решение в области проведения горизонтальных выработок буровзрывным способом и способствует повышению безопасности труда рабочих и ресурсосбережению при производстве горных работ. Применение эмульсионного ВВ типа «Украинит-П-СА» позволит уменьшить количество шпуров в забое выработки до 12% по сравнению с использованием ВВ типа «Аммонит №6 ЖВ». Расходы взрывчатых материалов при использовании паспорта БВР при применении ВВ «Украинит-П-СА» уменьшится до 6%. Эти показатели свидетельствуют о необходимости применения эмульсионного ВВ типа «Украинит-П-СА» при проведении подготовительных и нарезных выработок буровзрывным способом, а также применение на проходческих работах высокопроизводительного проходческого оборудования.

2. Для обеспечения уходки за цикл не менее 3,3–3,5 м, кроме производительного самоходного оборудования, возникает потребность в новых конструкциях призматических врубов, надежность работы которых по образованию качественной (чистой) врубовой полости достигает 0,95–1,0. Разработано семь вариантов новых конструкций призматических врубов. Особенность разработанных призматических врубов заключается в обеспечении каждой его конструкции достаточным компенсационным объемом (скважины различных диаметров от 65 до 105 мм) для работы шпуровых врубовых зарядов на разрушение трапецевидных перегородок с коэффициентом компенсационного объема от 2,5 до 1,34.

3. Применение предложенного ВВ при проведении горизонтальных выработок в условиях ЧАО «ЗЖРК» позволит снизить себестоимость проведения 1 м подготовительных выработок до 11%. Ожидаемый экономический эффект, полученный в результате технико-экономического сравнения по основным статьям калькуляции расходов, свидетельствует о целесообразности внедрения разработанного технологического решения.

### Список литературы

1. Добыча и переработка урановых руд в Украине: монография / под общ. ред. А.П. Чернова. Киев: АДЕФ-Украина, 2001. 238 с.
2. Кутузов Б.Н., Белин В. А. Проектирование и организация взрывных работ. М.: МГТУ, 2011. 410 с.
3. Сивенков В.И., Иляхин С.В., Маслов И.Ю. Эмульсионные взрывчатые вещества и неэлектрические системы инициирования. М.: Щит-М, 2013. 320 с.
4. Взрывное разрушение горных пород при освоении недр / Трубецкой К.Н., Захаров В.Н., Викторов С.Д., Жариков И.Ф., Закалинский В.М. // Проблемы недропользования. 2014. № 3. С. 80–95.
5. Gorova, A., Kolesnyk, V., & Myronova, I. Increasing of environmental safety level during underground mining of iron ores. *Mining of Mineral Deposits*, 2014, 8(4), 473–479. <http://doi.org/10.15407/mining08.04.473>
6. Mironova I., & Borysovs'ka O. Defining the parameters of the atmospheric air for iron ore mines. *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining*, 2014, 333–339. <http://doi.org/10.1201/b17547-57>
7. Myronova I. The level of atmospheric pollution around the iron-ore mine. *New Developments in Mining Engineering*, 2015, 193–197. <http://doi.org/10.1201/b19901-35>
8. Kholodenko T., Ustimenko Y., Pidkamenna L., & Pavlychenko A. Ecological safety of emulsion explosives use at mining enterprises. *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining*, 2014, 255–260. <http://doi.org/10.1201/b17547-45>
9. Kholodenko T., Ustimenko Y., Pidkamenna L., & Pavlychenko A. Technical, economic and environmental aspects of the use of emulsion explosives by ERA brand in underground and surface mining. *New Developments in Mining Engineering*, 2015, 211–219. <http://doi.org/10.1201/b19901-38>
10. Khomenko O., Kononenko M., Myronova I., & Savchenko M. Application of the emulsion explosives in the tunnels construction. *E3S Web of Conferences*, 2019, 123, 01039. <http://doi.org/10.1051/e3sconf/201912301039>
11. Ильяхин С.В., Норов А.Ю., Якшибаев Т.М. Определение радиуса зон трещинообразования горного массива при камуфлетном взрыве // Взрывное дело. 2016. № 116/73. С. 29–36.
12. Развитие схем контурного взрывания для проходки подземных горных выработок / Оверченко М.Н., Мозер С.П., Галушко Ф.И., Луньков А.Г. // Взрывное дело. 2016. № 115/72. С. 202–214.
13. Гринев В.Г., Хорольский А.А. Система поддержки принятия решений при разработке месторождений полезных ископаемых // Горно-геологический журнал. 2017. 51(3). С. 18–24.
14. Хорольский А.А., Гринев В.Г. Выбор сценария освоения месторождений полезных ископаемых // Геология и охрана недр. 2018. (3), 68–75.
15. Разрушение горных пород взрывом / Н.Р. Шевцов, П.Я. Таранов, В.В. Левит, А.Г. Гудзь. Донецк: ДонНТУ, 2003. 253 с.
16. Меркулов А.В., Сильченко Ю.А., Скориков В.А. Проектирование паспортов буровзрывных работ

- при проходке горных выработок. Новочеркасск: Шахтинский институт ЮРГТУ, 2003. 90 с.
17. Оника С.Г., Стасевич В.И., Ковалева И.М. Разрушение горных пород взрывом. Минск: БНТУ, 2016. 168 с.
  18. Khomenko O., Rudakov D., & Kononenko M. Automation of drill and blast design. *Technical and Geoinformational Systems in Mining*, 2011, 271–275. <http://doi.org/10.1201/b11586-45>
  19. Хоменко О.Є., Кононенко М.М., Савченко М.В. Технологія підземної розробки рудних родовищ. М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». Дніпро: НТУ «ДП», 2018. 449 с. <http://doi.org/10.33271/dut.001>
  20. Ляшенко В.И., Хоменко О.Е., Кононенко М.Н. Обоснование параметров буровзрывной проходки горизонтальных горных выработок с подчищающими зарядами взрывчатых веществ в опережающих скважинах вруба // *Горные науки и технологии*. 2020, 5(4), 336-348. <http://doi.org/10.17073/2500-0632-2020-4-336-348>.
  21. Kononenko M., Khomenko O., Savchenko M., & Kovalenko I. Method for calculation of drilling-and-blasting operations parameters for emulsion explosives. *Mining of Mineral Deposits*, 2019, 13(3), 22–30. <https://doi.org/10.33271/mining13.03.022>
  22. Lyashenko V., Vorob'ev A., Nebohin V., Vorob'ev K. Improving the efficiency of blasting operations in mines with the help of emulsion explosives. *Mining of Mineral Deposits*, 2018, 12(1), 95–102. <https://doi.org/10.15407/mining12.01.095>
  23. Lyashenko V.I., Khomenko O.E., & Kislyi P.A. Improving of seismic safety of rocky deposits underground mining based on new charges of explosives application. *Ferrous Metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information*, 2019, 75(8), 912–922. <https://doi.org/10.32339/0135-5910-2019-8-912-922>
  24. Повышение эффективности проходки подземных горных выработок с использованием шпуровых зарядов с кумулятивным эффектом / Умаров Ф.Я., Насиров У.Ф., Нугфуллоев Г.С., Назаров З.С., Шарипов Л.О. // *Известия вузов. Горный журнал*. 2020. № 3. С. 15–23. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-3-15-23.
  4. Trubetskoy K.N., Zakharov V.N., Viktorov S.D., Zharikov I.F., Zakalinsky V.M. Explosive destruction of rocks during the development of subsoil. *Problemy nedropolzovaniya [Problems of Subsoil Use]*, 2014, no. 3, pp. 80–95. (In Russ.)
  5. Gorova A., Kolesnyk V., Myronova I. Increasing of environmental safety level during underground mining of iron ores. *Mining of Mineral Deposits*, 2014, 8(4), 473–479. <http://doi.org/10.15407/mining08.04.473>
  6. Mironova I., Borysovs'ka O. Defining the parameters of the atmospheric air for iron ore mines. *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining*, 2014, 333–339. <http://doi.org/10.1201/b17547-57>
  7. Myronova I. The level of atmospheric pollution around the iron-ore mine. *New Developments in Mining Engineering*, 2015, 193–197. <http://doi.org/10.1201/b19901-35>
  8. Kholodenko T., Ustimenko Y., Pidkamenna L., Pavlychenko A. Ecological safety of emulsion explosives use at mining enterprises. *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining*, 2014, 255–260. <http://doi.org/10.1201/b17547-45>
  9. Kholodenko T., Ustimenko Y., Pidkamenna L., Pavlychenko A. (2015). Technical, economic and environmental aspects of the use of emulsion explosives by ERA brand in underground and surface mining. *New Developments in Mining Engineering*, 2015, 211–219. <http://doi.org/10.1201/b19901-38>
  10. Khomenko O., Kononenko M., Myronova I., Savchenko M. Application of the emulsion explosives in the tunnels construction. *E3S Web of Conferences*, 2019, 123, 01039. <http://doi.org/10.1051/e3sconf/201912301039>
  11. Ilyakhin S.V., Norov A.Yu., Yakshibaev T.M. Determination of the radius of the rock mass crack formation zones during a camouflet explosion. *Vzryvnoe delo [Explosion Technology]*, 2016, no. 116/73, pp. 29–36. (In Russ.)
  12. Overchenko M.N., Mozer S.P., Galushko F.I., Lunkov A.G. Development of presplit blasting schemes for driving underground workings. *Vzryvnoe delo [Explosion Technology]*, 2016, no. 115/72, pp. 202–214. (In Russ.)
  13. Grinev V.G., Khorolsky A.A. A decision support system for the development of mineral deposits. *Gorno-geologicheskii zhurnal [Mining and Geological Journal]*, 2017, 51 (3), pp. 18–24. (In Russ.)
  14. Khorolsky A.A., Grinev V.G. The choice of a scenario for the development of mineral deposits. *Geologiya i okhrana neдр [Geology and Protection of Mineral Resources]*, 2018, (3), pp. 68–75. (In Russ.)
  15. Shevtsov N.R., Taranov P.Ya., Levit V.V., Gudzh A.G. Razrushenie gornykh porod vzryvom [The destruction of rocks by the explosion]. *Donetsk: DonNTU*, 2003, 253 p. (In Russ.)
  16. Merkulov A.V., Silchenko Yu.A., Skorikov V.A. Proektirovanie pasportov burovzryvnykh rabot pri

### References

1. Chernov A.P. *Dobycha i pererabotka uranovykh rud v Ukraine: monografiya [Mining and processing of uranium ores in Ukraine: Monograph]*. Kiev: ADEF-Ukraine, 2001, 238 p. (In Russ.)
2. Kutuzov B.N., Belin V.A. *Proektirovanie i organizatsiya vzryvnykh rabot [Design and organization of blasting operations]*. Moscow: Sholokhov Moscow State University for Humanities, 2011, 410 p. (In Russ.)
3. Sivenkov V.I., Ilyakhin S.V., Maslov I.Yu. *Emulsionnye vzryvchatye veshchestva i neelektricheskie sistemy initsirovaniya [Emulsion explosives and non-electric detonation systems]*. Moscow: Shchit-M, 2013, 320 p. (In Russ.)

- prokhodke gornyx vyrabotok [Designing of blasting patterns during mining operations]. Novocherkassk: Shakhty Institute of SRSTU, 2003, 90 p. (In Russ.)
17. Onika S.G., Stasevich V.I., Kovaleva I.M. Razrushenie gornyx porod vzryvom [Destruction of rocks by explosion]. Minsk: BNTU, 2016, 168 p. (In Russ.)
  18. Khomenko O., Rudakov D., Kononenko M. Automation of drill and blast design. Technical and Geoinformational Systems in Mining, 2011, 271–275. <http://doi.org/10.1201/b11586-45>
  19. Khomenko O.E., Kononenko M.M., Savchenko M.V. Tekhnologiya podzemnoy razrabotki rudnykh mestorozhdeniy [Technology of underground mining of ore deposits]. Dnipro: NTU DP, 2018, 449 p. <http://doi.org/10.33271/dut.001>
  20. Lyashenko V.I., Khomenko O.E., Kononenko M.N. Substantiation of parameters of mine working drivage with blasting technique and cleaning charges in advance cutting holes. Gornye nauki i tekhnologii [Mining Science and Technology], 2020, vol. 5, no. 4, pp. 336–348. <http://doi.org/10.17073/2500-0632-2020-4-336-348>
  21. Kononenko M., Khomenko O., Savchenko M., Kovalenko I. Method for calculation of drilling-and-blasting operations parameters for emulsion explosives. Mining of Mineral Deposits, 2019, 13(3), 22–30. <https://doi.org/10.33271/mining13.03.022>
  22. Lyashenko V., Vorob'ev A., Nebohin V., Vorob'ev K. Improving the efficiency of blasting operations in mines with the help of emulsion explosives. Mining of Mineral Deposits, 2018, 12(1), 95–102. <https://doi.org/10.15407/mining12.01.095>
  23. Lyashenko V.I., Khomenko O.E., Kislyi P.A. Improving of seismic safety of rocky deposits underground mining based on new charges of explosives application. Ferrous Metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information, 2019, 75(8), 912–922. <https://doi.org/10.32339/0135-5910-2019-8-912-922>
  24. Umarov F.Ya., Nasirov U.F., Nutfulloev G.S., Nazarov Z.S., Sharipov L.O. Increasing the efficiency of driving underground mine workings using blast-hole charges with a cumulative effect. Izvestiya vuzov. Gorny zhurnal. [News of Higher Educational Institutions. Mining Journal.], 2020, no. 3, pp. 15–23. DOI: 10.21440 / 0536-1028-2020-3-15-23

Поступила 03.04.2021; принята к публикации 26.04.2021; опубликована 27.09.2021  
Submitted 03/04/2021; revised 26/04/2021; published 27/09/2021

**Хоменко Олег Евгеньевич** – доктор технических наук, профессор кафедры горной инженерии и образования, Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», Днепр, Украина.  
Email: rudana.in.ua@gmail.com

**Кононенко Максим Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры горной инженерии и образования, Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», Днепр, Украина.  
Email: kmn211179@gmail.com

**Ляшенко Василий Иванович** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, начальник научно-исследовательского отдела, Украинский научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт промышленной технологии, Желтые Воды, Украина.  
Email: vilyashenko2017@gmail.com

**Oleg E. Khomenko** – DrSc (Eng.), Professor of the Department of Mining Engineering and Education, National Technical University Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine.  
Email: rudana.in.ua@gmail.com

**Maksim N. Kononenko** – PhD (Eng.), Associate Professor of the Department of Mining Engineering and Education, National Technical University Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine.  
Email: kmn211179@gmail.com

**Vasily I. Lyashenko** – PhD (Eng.), Senior Researcher, Head of the Research Department, State Enterprise Ukrainian Research and Design Institute of Industrial Technology, Zhovti Vody, Ukraine.  
Email: vilyashenko2017@gmail.com