ПОВЫШЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ СКАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ НОВЫХ ЗАРЯДОВ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ*

В. И. ЛЯШЕНКО¹, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, vilyashenko2017@gmail.com;

О. Е. ХОМЕНКО², д-р техн. наук, профессор кафедры подземной разработки месторождений;

П. А. КИСЛЫЙ¹, главный специалист научно-исследовательского отдела

(¹ ГП “Украинский научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт промышленной технологии”, Украина, г. Желтые Воды; ² Национальный технический университет “Днепропетровская политехника” Министерства образования и науки Украины, Украина, г. Днепр)

Аннотация. Повышение сейсмической безопасности подземной разработки скальных месторождений — важная научная и социальная задача. Среди возможных способов ее решения важное значение и место занимает применение новых взрывчатых веществ. Приведены основные научные и практические результаты исследований в этой области. Дан анализ ранее выполненных исследований и контрольных наблюдений, инструментальных замеров сейсмического действия взрыва приборами и аппаратурой. Показано, что повышение сейсмической безопасности и эффективности производства взрывных работ на шахтах достигается интенсификацией технологических процессов с применением высокопроизводительной самоходной и малогабаритной зарядной техники нового поколения. К ним относятся машины модели ЗЭВС-1 и переносные зарядчики модели ЗЭП-15, применяемые для механизации взрывных работ. Повышению сейсмической безопасности способствует и применение при проходке горных выработок и добыче полезных ископаемых на горнодобывающих предприятиях наливных, экологически чистых, бестротиловых эмульсионных взрывчатых веществ “Украинит-ПП-2”. Приведены их характеристики, назначение, рассмотрены особенности применения. Выполнен анализ методов и технических средств для сейсмических измерений. Предложено создание системы сейсмомониторинга с применением современных автоматизированных систем и электронных сейсмографов, что позволит снизить уровень сейсмического воздействия на здания и сооружения в зоне действия взрывов до требований норм сейсмической безопасности.

Ключевые слова: горные работы, сейсмическая безопасность, эмульсионные взрывчатые вещества, зарядная техника, сейсмомониторинг.

Ссылка для цитирования: Ляшенко В.И., Хоменко О.Е., Кислый П.А. Повышение сейсмической безопасности подземной разработки скальных месторождений на основе применения новых зарядов взрывчатых веществ // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2019. Т. 75. № 8. С. 912–922.

Doi: 10.32339/0135-5910-2019-8-912-922

* Работа выполнена в рамках темы “Мониторинг сейсмического действия взрывных работ на объекты дневной поверхности в пределах горного отвода на шахтах ГП “ВостГОК” (научный руководитель — В.И. Ляшенко, № гос. регистрации 0109U002127) при содействии В.Н. Пухальского, А.Е. Пицыка, Н.Н. Ковтуна (ГП “ВостГОК”), Г.В. Мельник, А.В. Малоок, А.В. Хомиченко (концерн “Южсталь”), А.А. Ткаченко, А.Г. Скотаренко, В.Н. Жушмана (ГП “УкрНИПИПромтехнологии”) и других.

IMPROVING OF SEISMIC SAFETY OF ROCKY DEPOSITS UNDERGROUND MINING BASED ON NEW CHARGES OF EXPLOSIVES APPLICATION

V. I. LYASHENKO¹, PhD (Tech.), Senior Res. Ass., vilyashenko2017@gmail.com;

O. E. KHOMENKO², HD (Tech.), Prof., Dpt. "Underground deposits mining";

P. A. KISLYI¹, Chief Specialist, R&D Dpt.

(¹ GP "Ukrainian R&D, Designing and Survey Institute of Industrial Technology", Ukraine, Zheltye Vody;

² National Technical University "Dneprovskaya Polytechnika", Ministry of Education and Science of Ukraine, Ukraine, Dnepr)

Abstract. Improving of seismic safety of rocky deposits underground mining is an important scientific and social task. Among possible methods of its solving, application of new explosive materials occupies an important place. Main scientific and practical results of the study in this area presented. An analysis of previous studies and control observations, instrumental measuring of an explosion seismic action by devices and apparatus accomplished. It was shown, that seismic safety improving and efficiency of explosive work at mines increase reached by intensification of technological processes with application of high productivity self-propelled and small-size charging machinery of new generation, such as machines of ЗЭВС-1 model and portable chargers of ЗЭП-15 model, used for explosion operations mechanization. Application of pouring ecologically clean trotyl-free emulsion explosive materials of "Украинит-ПП-2" (Ukrainit-PP-2) type also favors to the improving of seismic safety. Their characteristics and purpose presented, peculiarities of application considered. Analysis of methods and technical means for seismic measurements accomplished. Elaboration of seismic monitoring system with application of state-of-the-art automation systems and electronic seismographs proposed, that will allow decreasing level of seismic action on buildings and constructions in an explosion action zone down to requirements of seismic safety standards.

Key words: mining operation, seismic safety, emulsion explosion material, charging facilities, seismic monitoring.

For citation: 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. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnicheskoi i ekonomicheskoi informatsii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2019, vol. 75, no. 8, pp. 912–922. (In Russ.).

Doi: 10.32339/0135-5910-2019-8-912-922

Исследования сейсмического действия взрыва выполнялись в Кривбассе, в ОАО "Полтавский ГОК", на Запорожском железорудном комбинате, ГП "ВостГОК" и других, где добыча полезного ископаемого ведется с применением взрывных работ: ГНИГРИ (г. Кривой Рог), НГУ (г. Днепр), Институт гидромеханики НАН Украины и др. Вопросами управления сейсмического действия взрыва занимались: Институт физики Земли АН СССР, ОАО "УНИИпромель", ОАО ВНИИЦВЕТ, АО "ВНИПИИпромтехнологии", ГП "УкрНИПИИпромтехнологии", ОАО НИКМА и др. За рубежом эти исследования проводились в США, Германии, Франции, Чили, Австралии и других развитых горнодобывающих странах.

Сохранность поверхностных зданий и сооружений в зоне влияния горных работ в значительной степени зависит от интенсивности и характера прохождения волновых процессов при взрывах в упругих горных массивах, которые

формируют закономерности, соответствующие их геомеханическим и геотехническим условиям. Кроме того, сохранность сооружений определяется состоянием рыхлых отложений на поверхности кристаллического фундамента, наличием обводненности, оползневых явлений и т. д. Выполнение этих задач возможно при постоянных исследованиях закономерностей распространения сейсмических волн и применения технологических приемов, снижающих объем взрывчатых веществ (ВВ) на одно замедление (внутривеерное замедление, уменьшение высоты подэтажа, встречное взрывание с разделением фронта сейсмической волны, экранирование и др.). Поэтому повышение сейсмической безопасности подземной разработки скальных месторождений на основе применения новых зарядов ВВ, — важная научная и социальная задача, требующая неотлагательного решения [1–5].

Методы исследований и применяемые термины

Авторами проведены анализ ранее выполненных исследований и контрольных наблюдений, инструментальные замеры сейсмического действия взрыва приборами нового поколения, математический анализ и статистическая обработка результатов, установлены зависимости, выполнены расчеты и обоснования по стандартным и новым методикам.

Допустимая скорость сейсмических колебаний грунта — скорость, при которой полностью

гарантировано сохранение зданий и сооружений, а вероятные локальные деформации не превышают прогнозируемых.

Короткозамедленное взрывание — последовательное взрывание отдельных зарядов или отдельных групп зарядов с заранее заданными промежутками времени, измеряемыми миллисекундами.

Взрывчатое вещество (ВВ) — химическое соединение или смесь, которая способна при оп-

ределенных условиях к очень быстрому саморасширяющемуся химическому превращению с выделением тепла и большого количества газообразных продуктов.

Взрывные работы — комплекс организационных и технических мероприятий, связанных с подготовкой и проведением взрывов.

Сейсмический мониторинг — система регулярных наблюдений и контроля за развитием

опасных природных процессов и явлений в окружающей природной среде, проводимых по определенной программе с целью своевременной разработки и проведения мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций, связанных с опасными природными и техногенными процессами и явлениями.

Обсуждение результатов исследований

В настоящее время широкое применение находят эмульсионные взрывчатые вещества (ЭВВ). Павлоградский химический завод выпускает

ЭВВ типа “ЭРА” и водногелевые “Гелекс” (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

TABLE 1. CHARACTERISTICS OF EXPLOSIVE MATERIALS

Параметр	Тип взрывчатого вещества								
	ЭРА-II	ЭРА-Ip	ЭРА	ЭРА-III	Гелекс 230	Гелекс 420	Гелекс 650	ЭРА-II	Украинит-ПП-2
Плотность ВВ в патроне, г/см ³	1,08–1,16 (патронированная)	1,05–1,2	1,08–1,16	1,08–1,16	1,2–1,3	1,1–1,2	1,25–1,4	1,5–1,25 (для механизированной зарядки)	1,1–1,41
Бризантность, не менее, мм	10	10	10	10	10	6	10	10	
Теплота взрыва, не менее, ккал/кг	900	900	900	900	990	1017	1150	800	2900–3100 (кДж/кг)
Скорость детонации, не менее, км/с	4,5	3,8	4,5	4,5	4,2–4,5	4,4–4,5	4,5–5,0	3,6	4,6–5,3 (в стальной оболочке)
									4,8–5,0 (в бумажной оболочке)
Критический диаметр детонации открытого заряда, мм	25	25	15–25	25	23	38–40	22–23 25–30 (в стальной оболочке)	50–60	15–40
Диаметр патрона, мм	25–90	25–90	25–90	25–90	32–70	70–180	32–90	—	—
По степени опасности	1 класс	1 класс	1 класс	1 класс	1 класс	1 класс	1 класс	1 класс	1 класс
Группа совместимости	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д
Серийный номер	ООН 0241	ООН 0241	ООН 0241	ООН 0241	ООН 0241	ООН 0241	ООН 0241	ООН 0392	ООН 0332

ВВ типа “ЭРА-II”, “ЭРА-Ip”, “ЭРА”, “ЭРА-III” — патронированные, представляют собой однородную смесь эмульсии с гранулированной аммиачной селитрой и измельченным твердым ракетным топливом и выпускаются в виде патронов в полиэтиленовой или другой полимерной оболочке. Они относятся к ВВ II класса применения и предназначены для открытых и подземных взрывных работ за исключением шахт и рудни-

ков, опасных по газу и пыли. Иницирование патронов производится от электродетонаторов, капсулей-детонаторов, зажигательных трубок, детонирующего шнура, а также с помощью неэлектрических систем иницирования.

ЭВВ “ЭРА” имеют следующие преимущества перед существующими ВВ:

– не содержат тротила;

- значительно меньше, чем в традиционных ВВ, ядовитых газов в продуктах детонации;
- обладают низкой чувствительностью к механическим воздействиям;
- отсутствует пыление и накопление статического электричества;
- безопасны в обращении;
- возможность увеличения плотности заряжения вследствие разрыва оболочки вдоль длины патрона от удара досылника.

ЭВВ “ЭРА-П” предназначено для механизированного заряжения сухих и обводненных шпуров и скважин при ведении подземных взрывных работ. Оно представляет собой смесь эмульсионной матрицы и технологических добавок, обеспечивающих физические и взрывные свойства. Инициирование ЭВВ “ЭРА-П” в шпурах осуществляется традиционными средствами инициирования (электродетонаторами, капсюль-детонаторами). Инициирование скважинных зарядов осуществляется с помощью шашек-детонаторов типа ТГ или другого вида, не уступающих им по иницирующей способности. “ЭРА-П” безопасно в обращении за счет работы с невзрывоопасными компонентами, ВВ образуется через 10–30 мин в шпуре, скважине. Удобство в обращении позволяет производить механизированное заряжение шпуров и скважин. Потребители получают от завода-поставщика составляющие ЭВВ “ЭРА-П” в виде невзрывоопасных компонентов. Поставка осуществляется автомобильным транспортом завода-поставщика (рис. 1).

Рис. 1. Транспорт для доставки ВВ (общий вид)

Fig. 1. Transport of explosive materials delivery (general view)

Водногелевые патронированные ВВ типа “Гелекс-230”, “Гелекс-420”, “Гелекс-650” предназначены для ведения взрывных работ на открытых поверхностях, в подземных условиях, в рудниках и шахтах, не опасных по газу и пыли (рис. 2). В их состав входят загущенные водные растворы селитры, алюминия, которые представляют собой

гелеобразную массу. Имеют II класс по условиям применения, иницируются от электродетонаторов, капсюль-детонаторов и детонирующего шнура. Используются для заряжения шпуров и скважин любой степени обводненности. Отличия водногелевых патронированных ВВ типа “Гелекс-230”, “Гелекс-420”, “Гелекс-650” от традиционно применяемых ВВ:

- не содержат тротила;
- значительно меньше, чем в традиционных ВВ, ядовитых газов в продуктах детонации;
- низкая чувствительность к механическим воздействиям;
- отсутствует пыление и накопление статического электричества.

Рис. 2. Общий вид патронированных ВВ типа “Гелекс”

Fig. 2. General view of “Гелекс” packaged explosive

ЭВВ “Украинит-ПП-2” по ТУ У 24.6-32613199-002:2009 — это жидкая двухкомпонентная смесь эмульсионной композиции ЭК-П (обратной эмульсии водных растворов неорганических нитратов в углеводородной среде) с газогенерирующей добавкой ГГД-У, с помощью которой происходит сенсibilизация эмульсии пузырьками кислорода. ЭВВ “Украинит-ПП-2” предназначено для взрывания на открытой грунтовой поверхности и в забоях подземных выработок, в которых отсутствует выделение горючих газов и пыли, в породах любой крепости и степени обводненности. Его приготовление выполняется на месте применения при помощи смесительно-зарядных устройств (смесительных машин или зарядчиков), допущенных для этого в установленном порядке, путем смешивания в соответствующей пропорции по массе рецептурных компонентов в процессе заряжения шпуров и скважин. Взрывчатые свойства “Украинит-ПП-2” приобретает непосредственно в шпурах (скважинах) с течением времени (от 0,5 до 1 ч). При смешивании

вании происходит сенсбилизация эмульсии пузырьками кислорода.

Эмульсионная композиция относится к классу опасности 5, подкласс 5.1, идентификационный номер ООН 3375. Газогенерирующая добавка

относится к классу 5, подкласс 5.1, идентификационный номер ООН 2984. ЭВВ “Украинит-ПП-2” и его компоненты имеют следующие физико-технические свойства, а также взрывчатые показатели (табл. 2).

ТАБЛИЦА 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ЭВВ “УКРАИНИТ-ПП-2”

TABLE 2. CHARACTERISTICS OF EMULSION EXPLOSIVE “УКРАИНИТ-ПП-2”

Показатель	Значение
Внешний вид при температуре от 20 до 70 °С	Текучая однородная аэрофицированная масса от желтого до коричневого цвета
Плотность при температуре 30±10 °С через 1 ч после отбора пробы, кг/м ³	1100–1410
Степень газогенерации при температуре 30±10 °С за период времени 30 мин, не менее, %	6
Полнота детонации заряда в бумажной оболочке диам. 50 мм от аммонита № 6 ЖВ	Полная
Кислородный баланс, %	Минус 0,18 до минус 2,15
Теплота взрыва, кДж/кг	2900–3100
Объем газов при взрыве, л/кг	762–892
Скорость детонации при взрыве в стальной оболочке, м/с	4500–5300
Критический диаметр открытого заряда, мм	35–40
Водостойкость (при контакте с водой 24 ч), не более, г/см ²	0,02
Максимальная степень газогенерации пробы за 24 ч, %	30
Относительная работоспособность по отношению к аммониту № 6 ЖВ	1,05
Газогенерирующая способность ГГД-У, не менее, %	0
Токсические газы взрыва, л/кг	До 33

Главными отличиями ЭВВ “Украинит-ПП-2” от всех аналогичных двухкомпонентных ЭВВ, представленных на мировом рынке, являются:

- использование в качестве газогенерирующей добавки водного раствора неорганических пироксидов (перекиси водорода H_2O_2), тогда как в мировой практике для этих целей применяют высокотоксичный раствор нитрата натрия (с ПДК не более 0,05 мг/м³);

- практически 100 %-ное завершение всех химических реакций, происходящих с компонентами ЭВВ при взрыве, за счет образования в эмульсии микропузырьков кислорода, а не азота, как у мировых аналогов;

- высокая скорость передачи детонации (не менее 5000 м/с) и как следствие — мощное разрушение горной породы любой степени крепости с качественным дроблением (полным отсутствием негабаритов и непроработки подошвы);

- образование после взрыва в составе газов паров воды, осаждающих вредные выбросы оксида углерода, азота и сажистые продукты, что особенно актуально для подземных условий.

По условиям применения “Украинит-ПП-2” относится к ВВ II класса опасности. В настоящее время “Украинит-ПП-2” широко применяется при зарядании обводненных скважин на карьерах Ингулецкого, Южного, Центрального, Новокри-

ворожского ГОКов и гранитных карьерах Криворожского железорудного бассейна, Украина. Во время ведения взрывных работ на карьерах отмечается уменьшение загазованности по СО и NO. При взрыве в продуктах реакции присутствуют только углекислый газ, пары воды и свободный азот. Наличие воды в облаке взрыва связывает не только частицы пыли, но и газы, что обеспечивает режим быстрого оседания облака. “Украинит-ПП-2” отличается от аналогов существенно меньшей стоимостью.

Инициирование осуществляется промежуточными детонаторами массой не менее 0,2 кг (патрон аммонита № 6 ЖВ диам. 32 мм), обратным инициированием. При зарядании шпуров и скважин с высокой степенью обводненности или наличием проточной воды заряд “Украинит-ПП-2” необходимо гидроизолировать рукавами из полимерных материалов [6–8]. Для приготовления ЭВВ создан парк смесительно-зарядных машин серии “Украинит”, которые допущены к постоянному применению Госгорпромнадзором Украины. При изготовлении “Украинит-ПП-2” в местах его применения контролируют следующие показатели (табл. 3).

ТАБЛИЦА 3. КОНТРОЛИРУЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ “УКРАИНИТ-ПП-2”

TABLE 3. CONTROLLED PARAMETERS DURING MANUFACTURING “УКРАИНИТ-ПП-2”

Показатель	Норма
Внешний вид при температуре от 20 до 70 °С	Текущая однородная газифицированная масса от желтого до коричневого цвета
Плотность при температуре 30±10 °С через 1 ч после отбора пробы, кг/м ³	1100–1410
Степень газогенерации при температуре 30±10 °С за период времени 30 мин, не более, %	6
Полнота детонации заряда в бумажной обертке диам. 50 мм от заряда аммонита № 6 ЖВ массой 50 г	Полная

Специалистами ООО “НТО Технотрон” (г. Желтые Воды, Украина) изготовлен и представлен на предварительные испытания смесительно-зарядный стенд ЗЭП-15 СЭС 00.00.00 для приготовления в подземных условиях и зарядки шпуров и скважин ЭВВ “Украинит-ПП-2” по ТУ У24.6-32513399-02:2009 сухих и обводненных шпуров диаметром не менее 36 мм при выполнении проходческих работ, или на открытых горных работах (табл. 4). При проведении предварительных испытаний будут проведены инструментальные измерения значений сейсмических колебаний грунта на дневной поверхности с целью определения параметров сейсмического воздействия взрывов с применением ЭВВ “Украинит-ПП-2” на охраняемые объекты на дневной поверхности в зоне действия взрывов. Преимущества ЭВВ перед традиционно применяемыми ВВ:

- высокая степень безопасности, которая обеспечивается применением невзрывоопасных, нетоксичных компонентов. Взрывчатое вещество образуется через определенное время после смешивания компонентов непосредственно в шпурах и скважинах;
- ЭВВ не содержат тротила и в результате взрыва образуется значительно меньшее количество вредных ядовитых газов;
- при зарядании отсутствует пыление и не накапливается статическое электричество;
- обладают низкой чувствительностью к механическим воздействиям;
- практически 100 %-ное завершение всех химических реакций при взрыве за счет образования в эмульсии микропузырьков кислорода;

– качественное дробление горной массы при взрыве за счет высокой скорости передачи детонации;

– осаждение вредной пыли и газов при взрыве за счет находящихся в составе взрывных газов паров воды;

– “Украинит-ПП-2” выгодно отличается от других ЭВВ значительно меньшей стоимостью;

– значительное снижение себестоимости взрывных работ за счет применения механизированного способа заряжания.

ТАБЛИЦА 4. МИРОВЫЕ ПРОИЗВОДИТЕЛИ ЭВВ

TABLE 4. WORLD PRODUCERS OF EMULSION EXPLOSIVES

Страна	Фирма-производитель	Наименование ВВ
США	Du Pont NSI Ireco Atlas	Towex E, Towen E HEF (Bulk) Iregel, Iromox Apex, Power AN
Канада	ETI	Towex, Towan
Швеция	Nitro Nobel	Emulit
Германия	Westsprenge	Emulgit
Финляндия	Kemira	Kimit
Австрия	Orica	Powergel, Nobelit
Япония	Nipon & Fast	Chita-Mite
Россия	ГосНИИ “Кристалл”	Порэммит
Украина	ПНЗ ЗАО “Интер-взрывпром”	Анемикс
	ГП НПО ПХЗ	Эра, Гелекс
	Рубежанский казенный химический завод “Заря” ОАО “Кривбассвзрывпром”	Эмульхим Украинит

Такой рецептурный состав имеет только “Украинит-ПМ” и тем отличается от известных мировых аналогов, которые в качестве сенсibilизаторов используют либо дорогостоящие микросферы, либо вредный нитрит натрия. Он не содержит в своем составе аэрирующий агент. Использование в смеси с эмульгом в качестве сенсibilизатора ферросилиция позволило не только повысить мощность, но и снизило себестоимость по сравнению с сенсibilизатором в виде микросфер. Несмотря на наличие 13 % воды, введение высокоэнергетических сенсibilизаторов и повышение содержания нефтепродукта обеспечивает теплоту взрыва 4100–4400 кДж/кг. Энергия взрыва “Украинит-ПМ” позволяет эффективно разрушать весьма крепкие горные породы с коэффициентом крепости по Протодюкову 18–20 и любой степени обводненности.

Все компоненты, входящие в рецептуру, относятся к более низким классам опасности (вещества умеренно опасные и мало опасные). Рецептура “Украинит-ПМ” с ферросилицием сбалансирована таким образом, что в продуктах взрыва содержится минимальное количество вредных газов. При химических реакциях широко используется эффект взаимной нейтрализации. При этом образуются силикаты и карбонаты кальция, являющиеся центрами конденсации паров воды, что обеспечивает эффект быстрого пылеподавления в облаке взрыва и его осаждение. “Украинит”, как и любое другое ЭВВ, водоустойчив. Тонкая пленка нефтепродуктов надежно изолирует каплю окислителя и не пропускает воду [9]. В результате испытаний установлено, что применение “Украинит-ПМ” позволяет уменьшить загрязнение воздушной среды вредными веществами и пылью, а водной — нитратами. Непосредственными сравнительными измерениями пылегазолаборатории установлено, что по сравнению с тротилом при использовании “Украинит-ПМ” в атмосферу выбрасывается на 22 % меньше оксида углерода при отсутствии оксида азота [10–14].

Экономическая эффективность применения “Украинит-ПМ-1” обеспечивается за счет того, что он в 1,2 раза мощнее граммонита 79/21, что позволяет расширить сетку скважин, снизить объемы бурения и удельный расход ВВ. Доставка эмульсионной композиции (не являющейся взрывчатым веществом) на накопительные пункты может осуществляться автомобильным и железнодорожным транспортом в цистернах-термосах. Предприятие-производитель ЭВВ “Украинит-ПМ” — ОАО “Кривбассвзрывпром”. В настоящее время в ООО “Экком” (г. Днепр) продолжаются исследования по различным составам ЭВВ.

Анализ и оценка методов и технических средств для сейсмических измерений

Регистрацию сейсмоизмерений выполняют в местах максимального приближения взрывных работ к охраняемым объектам, а также в местах расположения зданий и сооружений, имеющих низкую сейсмостойчивость по заключениям в результате их обследования. Определение скорости и периода колебаний грунта возле фундаментов и собственных колебаний конструкций объектов выполняют профильным методом по направлению взрываемый блок — защищаемый объект для определения закономерности распространения сейсмических взрывных волн. В каждой точке измерений фиксируют колебания в трех направлениях: по двум горизонтальным составляющим (x , y) и одной вертикальной (z). Количество измерений должно быть достаточным

Таким образом, в результате проведения комплекса научно-исследовательских, опытно-конструкторских и производственных работ авторами установлен современный технический уровень зарядного, вспомогательного и взрывного оборудования, разработанного НПК “А и М” и изготовленного совместно с РМЗ ГП “ВостГОК” и ООО “НТО Технотрон”. Повышение эффективности горных работ на шахтах Украины на основе внедрения высокопроизводительной горной техники нового поколения позволяет повысить уровень интенсификации технологических процессов, механизации по заряданию и взрыванию ВВ и др. Технологическая схема доставки компонентов ЭВВ “Украинит-ПП-2” апробирована на шахтах ПАО “Кривбассжелезрудком” (КЖРК) и показала положительные результаты.

На сегодня объемы и масштабы внедрения экологически чистого ЭВВ “Украинит-ПП-2” значительно увеличились — расширилась география и сфера применения на шахтах Украины: ПАО КЖРК, ПАО “ЕВРАЗ Сухая Балка” (г. Кривой Рог) и ООО “Восток-Руда” (г. Желтые Воды), ЗАО ЗЖРК, опробованы также первые опытно-экспериментальные зарядки кругового веера скважин (диам. 89–105 мм и длиной до 30 м), ведутся работы по совершенствованию технологии приготовления компонентов ЭВВ. При поддержке Госгорпромнадзора Украины и Криворожской горно-технической инспекции промышленные испытания ЭВВ “Украинит-ПП-2” будут продолжены на шахтах ПАО КЖРК и ГП “ВостГОК”. Заинтересованность в проведении опытно-экспериментальных работ по применению ЭВВ проявляют и другие предприятия развитых горнодобывающих стран [12–18].

для обеспечения необходимой точности расчетов и уровня надежности для объектов в зависимости от их классов. Из аппаратуры, поставляемой производителями развитых горнодобывающих стран мира, наибольшее научное и практическое значение представляет прибор BlastMate Series III производства фирмы InstanTel, Канада (рис. 3) [7–10, 19]. С помощью одного прибора можно одновременно регистрировать вибрации, условия окружающей среды и движение трещин в сооружениях. Исключаются влияние человеческого фактора, ошибки при обработке и представлении информации в виде протокола, распечатанного компьютером сразу же после завершения взрыва.

Рис. 3. Общий вид сейсмографа BlastMate Series III

Fig. 3. General view of BlastMate Series III seismograph

Представляют также научный и практический интерес сейсмические станции “Синус” (пат. 2248592 РФ) (рис. 4). Они являются многоканальными, высокочувствительными приборами, предназначенными для определения статических и динамических параметров сейсмического волнового поля и могут работать совместно с любым источником возбуждения сейсмических колебаний импульсного типа.

Рис. 4. Общий вид сейсмической станции “Синус”

Fig. 4. General view of seismic station “Синус”

Приборы компактны и экономичны. Это позволяет эффективно использовать их при проведении полевых работ в труднодоступных участках местности, на промышленных и строительных площадках с повышенным уровнем геосейс-

мического фона, в шахтных выработках. В основе работы станций лежит принцип синхронного накопления сигналов со знаком “+” или “-”, что обеспечивает повышение отношения сигнал/шум сейсморегирующего канала. Сейсмостанции выполнены на современной элементной базе импортного производства с использованием контроллеров AVR Mega фирмы Atmel. В состав каждого прибора входят блок управления и цифровой обработки, flash-память для длительного хранения больших объемов данных, блок АЦП и блок предварительной аналоговой обработки, обеспечивающий необходимую амплитудно-частотную коррекцию входных сейсмических сигналов. Все блоки питаются от импульсного стабилизированного источника. Графическая и текстовая информация визуализируется на экране встроенного плазменного или ЖК дисплея с разрешением 320×240 пикселей. Управление работой прибора осуществляется в режиме диалог с помощью матричной клавиатуры 84LS фирмы Grayhill или отечественной СК-12. Управляющая программа содержит большое количество сервисных функций в виде текстовых подсказок, что способствует оперативности освоения прибора и упрощает работу с ним. Приборы могут применяться для изучения структурных особенностей верхней части геологической среды, расположенных на глубинах от единиц до десятков и сотен метров, в частности, для определения карстовых пустот, подземных воронок и выработок, для локализации месторождений полезных ископаемых, например нефте-газоносных структур небольшой мощности, для поиска и трассирования подземных водоносных пластов, для оценки надежности грунтов в зонах предполагаемого строительства зданий, сооружений, транспортных и коммуникационных магистралей и т. п. Отличительные особенности: экономичная аппаратура в мире в классе малоканальных инженерных сейсмических станций; компактность, простое управление, малый вес, широкий рабочий температурный диапазон; мониторинг геосейсмических шумов в псевдореальном времени, сохранение на флэш-диске более 500 сейсмограмм; высокоскоростной контроллер AVR обеспечивает выполнение любой операции в реальном времени; синхронное суммирование одиночных сейсмограмм со знаком “+” или “-”; цифровой алгоритм, полностью устраняющий искажения типа смещения нулевой линии.

Направление дальнейших исследований

Представляют также научный и практический интерес работы по созданию отечественного оборудования для приготовления и зарядания

ЭВВ, внедрению этих инновационных технологий в практику добычи полезных ископаемых. Применение ЭВВ при подземной добыче руд и мас-

штабное внедрение этих современных взрывных технологий на шахтах осложнено устаревшими горными технологиями, особенностями разработки железорудных месторождений, традициями и кадрами, сложившимися в добывающих регионах, а также отсутствием нормативных до-

кументов и государственной программы по переходу на бестротилловые технологии взрывных работ и повсеместного сопровождения сейсмического мониторинга за охраняемыми объектами в зоне их влияния [20–24].

Выводы

1. Показано, что повышение эффективности производства взрывных работ на шахтах достигается интенсификацией технологических процессов с применением высокопроизводительной самоходной и малогабаритной зарядной техники нового поколения, такой как машины модели ЗЭВС-1 и переносные зарядчики модели ЗЭП-15, для механизации взрывных работ с помощью наливных, экологически чистых, бестротилловых ЭВВ “Украинит-ПП-2” при проходке горных выработок и добыче полезных ископаемых на горнодобывающих предприятиях.

2. Результаты экспериментальных взрывов на шахтах Украины показали, что патроны ЭВВ “Украинит-П” могут использоваться в качестве промежуточных детонаторов, для заряжания шпуров и скважин, для вторичной отбойки негабаритов.

3. Установлено, что масса зарядов должна быть равномерно распределена по ступеням замедления, кроме первой и последней. Масса первой и последней ступеней должна быть на 25–30 % меньше, чем в остальных. Количество ступеней замедления должно быть не менее чем 3–4.

4. Предложено создание системы сейсмомониторинга с применением современных электронных сейсмографов, что позволит снизить уровень сейсмического воздействия на здания и сооружения в зоне действия взрывов до требований норм сейсмической безопасности, что понизит уровень социального напряжения для населения, проживающего в зоне воздействия взрывных работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Добыча и переработка урановых руд / Под общ. ред. А.П. Чернова. — Киев: Адеф-Украина, 2001. — 238 с.
2. Коваленко И.Л., Куприн В.П. Взаимодействие эмульсионных взрывчатых веществ с сульфидными минералами // Взрывное дело. 2010. № 103/60. С. 154–170.
3. Никулова В.Г., Тимонина Т.В. Электродетонатор повышенной безопасности с заданными параметрами // Взрывное дело. 2010. № 103/60. С. 241–255.
4. ВостГОК. История и современность в фотодокументах / Под общ. ред. генерального директора ГП “ВостГОК” А.Г. Сорокина / С.А. Безродный, Е.В. Боровкова, Т.Н. Корсуновская и др. — Днепропетровск: Издательский дом “Статус”, 2011. — 96 с.
5. Кутузов Б.Н., Белин В.А. Проектирование и организация взрывных работ. — М.: МГТУ, 2011. — 410 с.
6. Сивенков В.И., Иляхин С.В., Маслов И.Ю. Эмульсионные взрывчатые вещества и неэлектрические системы инициирования. — М.: Щит-М, 2013. — 320 с.
7. Комашенко В.И. Разработка взрывной технологии, снижающей вредное воздействие на окружающую среду // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2016. № 1. С. 34–43.
8. Голик В.И., Исмаилов Т.Т., Страданченко С.Г., Лукьянов В.Г. Охрана искусственных массивов от сейсмического воздействия при подземной добыче руд // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327. № 4. С. 6–15.
9. Ляшенко В.И., Небогин В.З., Шкарин В.В. Повышение эффективности производства взрывных работ на шахтах Украины // Маркшейдерия и недропользование. 2016. № 3 (83). С. 14–21.
10. Комашенко В.И., Воробьев Е.Д., Белин В.А. Перспективы развития промышленных взрывчатых веществ и применения современных технологий взрывных работ с учетом экологической безопасности // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2017. № 3. С. 157–168.
11. Ляшенко В.И., Голик В.И. Научное и конструкторско-технологическое сопровождение развития уранового производства. Достижения и задачи // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 7. С. 137–152.
12. Jonson D. Controlled shock waves and vibrations during large and intensive blasting operations under Stockholm city // Workshop on Tunneling by Drilling and Blasting hosted by the 10th Int. Symp. On Fragmentation due to Blasting (Fragblast 10), New Delhi, India, 24–25 November, 2012. P. 49–58.
13. Monalal F.I., Arusu T. Blasting works in urban area A Singapore case study // Workshop on Tunneling by Drilling and Blasting hosted by the 10th Int. Symp. On Fragmentation due to Blasting (Fragblast 10), New Delhi, India, 24–25 November, 2012. P. 23–30.
14. Gupta I.D., Trapathy G.R. Comparison of construction and mining blast with specific reference to structural safety // Indian Mining and Engineering Journal. 2013. V. 54. № 4. P. 13–17.
15. Ляшенко В.И., Дудченко А.Х. Создание и внедрение сейсмобезопасной технологии подземной разработки урановых месторождений // Науковий вісник НГУ України. 2012. № 3. С. 54–63.

16. Ляшенко В.И., Дудченко А.Х. Сейсмобезопасная технология подземной разработки урановых месторождений // Безопасность труда в промышленности. 2012. № 5. С. 34–40.
17. Ляшенко В.И., Дудченко А.Х. Обоснование сейсмобезопасных для городской застройки параметров массовых взрывов при подземной разработке урановых месторождений // Изв. вузов. Горный журнал. 2012. № 8. С. 40–44.
18. Ляшенко В.И., Дудченко А.Х. Развитие научных основ сейсмобезопасной технологии подземной разработки урановых месторождений // Изв. вузов. Горный журнал. 2012. № 6. С. 40–48.
19. Ляшенко В.И., Небогин В.З., Шкарин В.В. Повышение безопасности производства взрывных работ с помощью эмульсионных ВВ на шахтах // Безопасность труда в промышленности. 2015. № 7. С. 28–32.
20. Ляшенко В.И. Научно-методическое и приборное обеспечение для повышения сейсмической безопасности при производстве взрывных работ под городской застройкой // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2017. № 5. С. 14–24.
21. Ляшенко В.И., Голик В.И., Комащенко В.И., Кислый П.А. Повышение эффективности взрывных работ в шахтах // Взрывное дело. 2018. № 119/76. С. 129–142.
22. Ляшенко В.И., Голик В.И., Комащенко В.И., Небогин В.З. Повышение эффективности производства взрывных работ с помощью эмульсионных взрывчатых веществ на шахтах // Взрывное дело. 2018. № 119/76. С. 143–163.
23. Lyashenko V., Vorob'ev A., Nebogin V., Vorob'ev K. Improving the efficiency of blasting operation in mines with the help of emulsion explosives // Mining of Mineral Deposits. 2018. V. 12. № 1. P. 95–102 (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).
24. Ляшенко В.И., Голик В.И., Комащенко В.И. и др. Повышение сейсмической безопасности подземной разработки скальных месторождений на основе применения новых средств инициирования взрывов зарядов ВВ // Взрывное дело. 2019. № 122/79. С. 154–179.

Поступила 15 мая 2019 г.

REFERENCES

1. *Dobycha i pererabotka uranovykh rud* [Mining and processing uranium ores]. Chernov A.P. ed. Kiev: Adef-Ukraine, 2001. 238 p. (In Russ.).
2. Kovalenko I.L., Kuprin V.P. Interaction between emulsion explosive materials and sulphide minerals. *Vzryvnoe delo*, 2010, no. 103/60, pp. 154–170. (In Russ.).
3. Nikulova V.G., Timonina T.V. Electric fuse of increased safety with prescribed parameters. *Vzryvnoe delo*, 2010, no. 103/60, pp. 241–255. (In Russ.).
4. Bezrodnyi S.A., Borovkova E.V., Korsunovskaya T.N. etc. *VostGOK. Istoriya i sovremennost' v fotodokumentakh* [VostGOK. History and the present in photo documents]. Sorokin ed. Dnepropetrovsk: Izdatel'skii dom "Status", 2011, 96 p. (In Russ.).
5. Kutuzov B.N., Belin V.A. *Proektirovanie i organizatsiya vzryvnykh rabot* [Designing and organization of blasting operations]. Moscow: MGGU, 2011, 410 p. (In Russ.).
6. Sivenkov V.I., Ilyakhin S.V., Maslov I.Yu. *Emul'sionnye vzryvchatye veshchestva i neelektricheskie sistemy initsirovaniya* [Emulsion explosive materials and non-electric systems of initiating]. Moscow: Shchit-M, 2013, 320 p. (In Russ.).
7. Komashchenko V.I. Elaboration of blasting technology, decreasing harmful effect on environment. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*, 2016, no. 1, pp. 34–43. (In Russ.).
8. Golik V.I., Ismailov T.T., Stradanchenko S.G., Luk'yanov V.G. Protection of artificial massifs against seismic impact at underground ore mining. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesurov*, 2016, vol. 327, no. 4, pp. 6–15. (In Russ.).
9. Lyashenko V.I., Nebogin V.Z., Shkarin V.V. Increase of efficiency of blasting operations at mines of Ukraine. *Marksheideriya i nedropol'zovanie*, 2016, no. 3 (83), pp. 14–21. (In Russ.).
10. Komashchenko V.I., Vorob'ev E.D., Belin V.A. Perspectives of industrial explosives development and application of modern technologies of blasting operations accounting ecological safety. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*, 2017, no. 3, pp. 157–168. (In Russ.).
11. Lyashenko V.I., Golik V.I. Scientific and designing accompaniment of uranium production development. Achievements and problems. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, 2017, no. 7, pp. 137–152. (In Russ.).
12. Jonson D. Controlled shock waves and vibrations during large and intensive blasting operations under Stockholm city. *Workshop on Tunneling by Drilling and Blasting hosted by the 10th Int. Symp. On Fragmentation due to Blasting (Fragblast 10)*, New Delhi, India, 24–25 November, 2012, pp. 49–58.
13. Monalas F.I., Arusu T. Blasting works in urban area A Singapore case study. *Workshop on Tunneling by Drilling and Blasting hosted by the 10th Int. Symp. On Fragmentation due to Blasting (Fragblast 10)*, New Delhi, India, 24–25 November, 2012, pp. 23–30.
14. Gupta I.D., Trapathy G.R. Comparison of construction and mining blast with specific reference to structural safety. *Indian Mining and Engineering Journal*, 2013, vol. 54, no. 4, pp. 13–17.
15. Lyashenko V.I., Dudchenko A.Kh. Creation and implementation seismic-safe technology of underground mining of uranium deposits. *Naukovii visnik NGU Ukraini*, 2012, no. 3, pp. 54–63. (In Ukr.).
16. Lyashenko V.I., Dudchenko A.Kh. Seismic-safe technology of underground mining of uranium deposits. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*, 2012, no. 5, pp. 34–40. (In Russ.).
17. Lyashenko V.I., Dudchenko A.Kh. Basing seismic parameters of mass explosions at underground mining of uranium deposits safe for city builing-up. *Izvestiya VUZov. Gornyi zhurnal*, 2012, no. 8, pp. 40–44. (In Russ.).
18. Lyashenko V.I., Dudchenko A.Kh. Development of scientific base of seismic-safe technology of underground mining of uranium deposits. *Izvestiya VUZov. Gornyi zhurnal*, 2012, no. 6, pp. 40–48. (In Russ.).

19. Lyashenko V.I., Nebogin V.Z., Shkarin V.V. Improving safety of blasting operations by emulsion explosions at mines. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*, 2015, no. 7, pp. 28–32. (In Russ.).
20. Lyashenko V.I. Scientific, methodological and device provision for seismic safety at blasting operations under urban buildings. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnicheskoi i ekonomicheskoi informatsii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2017, no. 5, pp. 14–24. (In Russ.).
21. Lyashenko V.I., Golik V.I., Komashchenko V.I., Kislyi P.A. Improving blasting operations efficiency in mines. *Vzryvnoe delo*, 2018, no. 119/76, pp. 129–142. (In Russ.).
22. Lyashenko V.I., Golik V.I., Komashchenko V.I., Nebogin V.Z. Improving blasting operations efficiency by emulsion explosion materials at mines. *Vzryvnoe delo*, 2018, no. 119/76, pp. 143–163. (In Russ.).
23. Lyashenko V., Vorob'ev A., Nebogin V., Vorob'ev K. Improving the efficiency of blasting operation in mines with the help of emulsion explosives. *Mining of Mineral Deposits*, 2018, vol. 12, no. 1, pp. 95–102 (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).
24. Lyashenko V.I., Golik V.I., Komashchenko V.I., Kislyi P.A., Rakhmanov R.A. Improving seismic safety of underground rocky deposits mining based on application of new means of explosion charges blasting initiating. *Vzryvnoe delo*, 2019, no. 122/79, pp. 154–179. (In Russ.).

Received May 15, 2019