

We have analyzed the reinforcing materials for anchors taking into account their features, price and availability of domestic production. The list of additives required for binding agent improvement has been suggested and their influence on the material strength has been determined. The prototypes for industrial installations producing such anchors have been suggested.

**Originality.** We have worked out the complex approach to define the shape, structure, reinforcing materials, additives to provide effective anchor bolting and proper strength of the structure.

**Practical value.** The anchor structure, materials and technology of the polymer anchors pilot production have been determined. The research ways for development of effective mass production of polymer anchors corresponding to the specifications which allow reducing prime cost of mine polymer anchoring are defined.

**Keywords:** *composite material, anchor, glass-fibre plastic, basalt-plastic, efficiency, production, mine working*

*Рекомендовано до публікації докт. техн. наук В.Д. Рябічевим. Дата надходження рукопису 25.09.12.*

УДК 658: 622.272

**Н.И. Ступник<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф.,  
В.А. Калиниченко<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф.,  
М.Б. Федько<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
Е.Г. Мирченко<sup>2</sup>**

1 – Государственное высшее учебное заведение „Криворожский национальный университет“, г. Кривой Рог, Украина, e-mail: vsevolod921@mail.ru  
2 – ш. „Смолинская“, ГП „ВостГОК“

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕЗТРОТИЛОВЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ НА РУДНИКАХ С ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧЕЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

**N.I. Stupnik<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Tech.), Professor,  
V.A. Kalinichenko<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Tech.), Professor,  
M.B. Fedko<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor,  
Ye.G. Mirchenko<sup>2</sup>**

1 – State Higher Educational Institution “Krivoy Rog National University”, Krivoy Rog, Ukraine, e-mail: vsevolod921@mail.ru  
2 – Mine “Smolinskaya”, “GP VostGOK”

## PROSPECTS OF APPLICATION OF TNT-FREE EXPLOSIVES IN ORE DEPOSITS DEVELOPED BY UNDERGROUND MINING

**Цель.** Целью работы является выбор типов простейших взрывчатых веществ (ВВ), теоретическое обоснование целесообразности и практической необходимости перехода на экономичные, безопасные и экологически надежные безтритиловые взрывчатые вещества.

**Методика.** Для определения перспектив использования безтритиловых ВВ на рудниках с подземной добычей полезных ископаемых используют общенаучные и специальные методы исследования: методы математического, статистического и графического моделирования; метод системного подхода, метод экономико-математического моделирования.

**Результаты.** Эффективность использования ВВ простейшего состава в подземных условиях зависит от крепости и обводненности горных пород, а также от физической стабильности взрывчатой смеси.

При взрывных работах необходимо исключить использование ВВ несбалансированных по кислородному балансу или с нестабильным составом компонентов, изменяющихся в зависимости от горно-геологических условий применения ВВ в скважинах.

**Научная новизна.** Установлено, что при одинаковом химическом составе физические различия смесей обуславливают, прежде всего, различные значения величин критического  $d_{кр}$  и предельного  $d_{пр}$  диаметров заряда. Так смесь дизельного топлива с непористой селитрой имеет  $d_{кр} = 120-160$  мм в патронах в бумажной оболочке, а с пористой селитрой 70–100 мм. Критические параметры детонации и взрывчатые характеристики игданита при диаметре заряда меньше предельного в значительной степени зависят от свойств гранул селитры, их пористости, впитывающей способности относительно дизельного топлива, удельной поверхности и др.

**Практическая значимость.** В рамках обеспечения горнодобывающих предприятий Украины водоустойчивыми и безопасными в обращении патронированными ВВ рекомендовано применять эмульсионные ВВ марки „ЕРА-Р“ II класса применения для заряжания скважин патронами диаметром от 32 до 90 мм. Такие ВВ инициируются от капсуль-детонатора (КД) или детонирующего шнура (ДШ), используются в шахтах и рудниках не опасных по газу и пыли. По своим эксплуатационным характеристикам и показателям безопасности патронированные ЭВВ марки „ЕРА“ выгодно отличаются от традиционного аммонита №6 ЖВ.

**Ключевые слова:** *безтритиловые ВВ, подземная добыча, руда, горные породы, скважины*

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Буровые и взрывные работы яв-

ляются одними из основных технологических процессов добычи полезных ископаемых. Поэтому они в значительной степени влияют на состояние промышленной и экологической безопасности горнодобы-

вающего предприятия, а также определяют экономическую эффективность его работы.

Токсичность и экологическая вредность заводских тротилсодержащих взрывчатых веществ (ВВ), а также высокая стоимость и опасность в обращении все более ограничивает их применение. Как известно, тротил не только опасен в обращении из-за своих взрывчатых свойств, но и как токсичный продукт, вызывающий в организме человека до тридцати различных заболеваний

Практика работы высокоразвитых горнодобывающих предприятий показывает, что применение безтротилового ВВ является безальтернативным направлением, позволяющим удешевить затраты на взрывную отбойку полезного ископаемого и значительно снизить вредное экологическое воздействие взрывных работ

**Анализ исследований и публикаций.** Мировая практика однозначно определяет выбор современных типов ВВ, выделяя, прежде всего, их экономичность, экологическую безопасность и надежность.

Современные ВВ в развитых зарубежных странах представлены, в основном, двумя типами: сыпучими смесями на основе пористой аммиачной селитры с жидкими невзрывчатыми органическими соединениями (ANFO) – простейшие ВВ, а также водосодержащими взрывчатыми смесями на основе водных гелей и обратных эмульсий, не содержащих взрывчатых смесей. В ведущих горнодобывающих странах (США, Канада) доля простейших ВВ при отбойке горных пород достигает 85% [1].

Простейшие ВВ указанного типа в английской транскрипции обозначают индексом AN-FO (нитрат аммония – горючее масло), в русской – АС-ДТ (аммиачная селитра – дизельное топливо), однако имеются и собственные наименования: игданиты, гранулиты (Россия), нилит, аустенит, пеллит, анол, алювиты, алюмексы (США), амекс (Канада), андекс, амонекс, декамон, динамон (Германия), гранулекс, анабел, анаприл, нобелит (Великобритания), селтит, ферролит, нитрат фуэл (Франция), пермон, пермонекс (Чехия, Словакия), нафтенит (Болгария), никегран (Венгрия), лабрит (Австрия), анол, амелен, нитрамон (Румыния), солетрол (Польша), аннит (Финляндия), приллит (Швеция), наголит, алнафт, наурит (Испания), энргел (Индия) и др. Они могут отличаться между собой сортом селитры и видом жидкого горючего. Некоторые современные сорта (гранулиты марки АС, простейшие ВВ типа игданита и др.) содержат помимо жидкого горючего еще и металлические порошки.

В таблице 1 приведены свойства простейших отечественных безтротилового гранулированных ВВ [2].

Эффективная область применения безтротилового ВВ на рудниках с подземной добычей полезных ископаемых – необводненные горные породы средней и ниже средней крепости. При этом они отличаются весьма низкой физической стабильностью и их рассматривают как ВВ „одного дня“.

Этим, скорее всего, можно объяснить минимальные объемы применения простейших ВВ для отбойки горных пород крепостью  $f=12-20$  баллов по шкале проф. М.М. Протодеяконова и обводненностью 80–90%.

Таблица 1

Свойства простейших отечественных безтротилового гранулированных взрывчатых веществ

Показатели	Игданит	Простейшее ВВ с алюминием	Гранулиты			
			М	АС-4	АС-4В	АС-8В
Кислородный баланс, %	0,12	- 1,2	+0,14	+0,41	+0,35	- 3,3
Теплота взрыва, кДж/кг	3760	4500	3760	4520	4520	5230
Объем газов, л/кг	980	-	980	907	-	-
Полная идеальная работа взрыва, кДж/кг	3150	-	3150	3550	3550	4000
Работоспособность, см <sup>3</sup>	320-330	400-410	320-330	390-410	390-410	400-420
Тротилловый эквивалент по баллистическому маятнику	-	-	0,89	0,96	0,96	-
Бризантность в стальном кольце, мм*	15-20	-	18-22	22-26	22-24	22-26
Скорость детонации, км/с	2,2-2,8	2,5-3,6	2,5-3,6	2,6-3,5	2,8-3,5	3,0-3,6
Критический диаметр, мм:						
в бумажной оболочке	120-150	100-120	80-100	60-100	70-100	80-110
в стальной оболочке	25-30	25-30	15-20	20-25	15-20	20-25
Минимальный инициирующий импульс (тротил), г						
Чувствительность:	20-30	-	10-15	5-10	5-10	5-10
к удару, %	0	0-20	0	4-12	0-12	0-8
к трению с примесью 5% песка, МПа (не менее)	300	300	300	300	300	300
Насыпная плотность	0,8-0,9	0,8-0,9	0,8-0,9	0,8-0,9	0,8-0,9	0,8-0,9

**Постановка задачи.** Целью работы является выбор типов простейших ВВ и теоретическое обоснование целесообразности и практической необходи-

мости перехода на экономичные, экологически безопасные и надежные безтротилловые взрывчатые вещества.

**Изложение материала и результаты.** Авторы рекомендуют использовать на подземных горных работах простейшие ВВ типа игданит, гранулит.

Решение проблемы физической стабильности ВВ простейшего состава во многих странах осуществляется за счет использования пористой аммиачной селитры. К сожалению, пористая селитра в Украине не производится.

Проблема стабилизации простейших ВВ при использовании „гладкой“ АС решается различными путями: введением в состав смеси АС-ДТ горючих добавок (угольный порошок, например), измельчением части (до 20%) аммиачной селитры, введением дизельного топлива в гранулы АС под давлением и др. Как следствие, были созданы различные типы простейших ВВ, например, гранулиты Д-5, КС-1, УП-1, ПВС-1У, ИВД-5 и др.

В связи с тем, что аммиачная селитра при изготовлении простейших ВВ не измельчается (при пневмозарядании происходит лишь частичное дробление гранул), взрывчатые характеристики ВВ этого типа существенно зависят от размера гранул селитры, их влажности, впитывающей способности, прочности, а также вязкости горючего. Энергетические характеристики смеси определяются ее химическим составом. Теплота взрыва будет наивысшей для смесей стехиометрического состава, отвечающего нулевому кислородному балансу. В случае трехкомпонентных алюмосодержащих ВВ, теплота взрыва возрастает с увеличением соотношения между алюминием и жидким горючим.

Впитывающая (удерживающая) способность гранул селитры зависит от их пористости и влажности.

Установлена высокая зависимость впитывающей способности от влажности для непористой селитры марки Б. Впитывающая способность селитры марки Б с влажностью около 0,9% относительно дизельного топлива составляет, в зависимости от размера гранул, 6,3–8,8%. Влияние влажности на впитывающую способность, относительно различных горючих жидкостей, еще более сильное.

Гранулы селитры насыщали горючими жидкостями до сохранения их сухости, определяемой на ощупь.

При влажности 0,19% непористая гранулированная аммиачная селитра впитывает 13,3% дизельного топлива, 11,9% глицерина, 18% скипидара, 10,2% полисилоксановой жидкости и 8% автола. При влажности селитры 0,26% гранулы впитывают лишь 1,5% дизельного топлива, 2% глицерина, скипидара или полисилоксановой жидкости, а также 2,5% автола.

Чем меньше влажность аммиачной селитры, тем больше горючей жидкой добавки она впитывает. Увлажненная аммиачная селитра поглощает малое и примерно одинаковое количество горючих жидкостей независимо от их физических и химических свойств, причем это количество колеблется в пределах от 1,5 до 2%, в среднем составляя 2%.

Поэтому для обеспечения нулевого или близкого к нулю кислородного баланса в состав ВВ вводят до-

полнительно твердые горючие добавки, такие как древесная мука, уголь, сажа, стеарат кальция, полиакриламид и др.

Твердая горючая добавка должна быть пористой, способной поглотить ту часть жидкого горючего, которая не удерживается гранулами аммиачной селитры. С этой точки зрения лучшими твердыми горючими добавками являются каменный и древесный уголь, хорошо адсорбирующие жидкие компоненты.

Замена части дизельного топлива на угольный порошок уменьшает растворимость гранулитов. Помимо повышения водоустойчивости, введение угольного порошка увеличивает эффективность взрыва на 17–20% и повышает брызгантность с 16 до 23 мм (испытание в кольцах).

При одинаковом химическом составе физические различия смесей обуславливают, прежде всего, различные значения величин критического  $d_{кр}$  и предельного  $d_{пр}$  диаметров заряда. Так смесь дизельного топлива с непористой селитрой имеет  $d_{кр} = 120–160$  мм в патронах в бумажной оболочке, а с пористой селитрой – 70–100 мм.

Критические параметры детонации и взрывчатые характеристики игданита, при диаметре заряда меньше предельного, в значительной степени зависят от свойств гранул селитры, их пористости, впитывающей способности относительно дизельного топлива, удельной поверхности и др.

Зависимость критического диаметра детонации заряда игданита от впитывающей (удерживающей) способности селитры относительно дизельного топлива и ее удельной поверхности при взрывании ВВ в стальных трубах показана на рисунке.

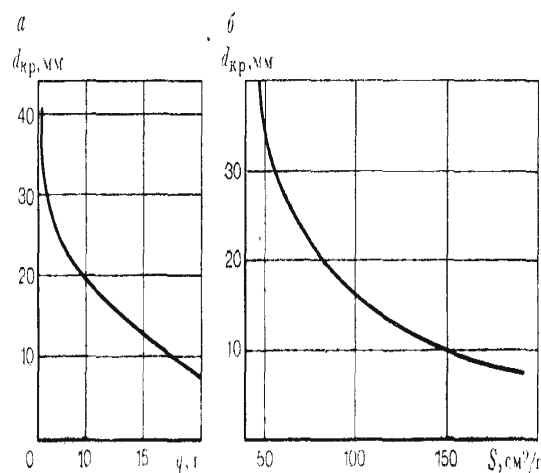


Рис. Зависимость критического диаметра детонации  $d_{кр}$  заряда игданита от удерживающей способности в 100 г аммиачной селитры  $q$  (а) и от удельной поверхности  $S$  аммиачной селитры (б)

При диаметре заряда больше критического, но меньше предельного, т. е. в области неидеального режима детонации, физические характеристики смеси влияют и на параметры детонации.

Из работ Дубнова Л.В., Бахаревича Н.С., Романова А.И. известно, что введение в гранулированную селитру на стадии кристаллизации некоторых поверхно-

стно-активных веществ (ПАВ) способствует увеличению ее впитывающей способности и, соответственно, скорости детонации игданита при взрывании в стеклянных трубках диаметром 25 мм от 1,74 до 2,45 км/с.

Повышенной впитывающей способностью по отношению к дизельному топливу характеризуется водоустойчивая селитра марки ЖВК, содержащая соли жирных кислот. Игданит на ее основе отличается более стабильными физическими и взрывчатыми свойствами.

При пневматическом зарядании шпуров и скважин простейшими ВВ, содержащими жидкое или низкоплавкое горючее с явно выраженными пластическими свойствами (типа парафина, воска и т.п.), гранулы селитры дробятся, что приводит к более равномерному смешиванию компонентов и уплотнению ВВ в зарядной камере. Благодаря этому параметры детонации становятся более высокими, чем при засыпке вручную. Так, например, в шпурах, выбуренных в известняке диаметром 50 мм, при плотности зарядания 0,8–0,9 г/см<sup>3</sup> (засыпка вручную) скорость детонации простейших ВВ составляет 2,5–3,3 км/с, а при плотности 1,1–1,2 г/см<sup>3</sup> (пневмозарядание) – 3,3–4 км/с.

Использование неводоустойчивых простейших ВВ при отбойке обводненных горных пород решается различными путями и, в частности, это стало возможным благодаря внедрению технологии формирования скважинных зарядов простейших ВВ в полиэтиленовых рукавах при предварительной откачке воды из скважин [1,4]. Однако реализация этой

технологии при высокой проточности воды практически невозможна.

При использовании ВВ простейшего состава возможны проблемы с критическим диаметром зарядов ВВ, а также с рациональным режимом их детонации.

Из этого следует, что уменьшение диаметра скважинных зарядов, способствующее улучшению качества дробления пород, при использовании простейших ВВ может негативно сказаться на режиме их детонации и полезной работе взрыва. Особо актуально эта проблема стоит для подземных горных работ, использующих при отбойке скважины диаметром, как правило, 85–105 мм.

Для решения этих проблем необходимо, в первую очередь, совершенствовать составы взрывчатых веществ для подземных горных работ с отработкой параметров отбойки и технологии зарядания.

В рамках обеспечения горнодобывающих предприятий Украины водоустойчивыми и безопасными в обращении патронированными ВВ, на ГП „НПО „Павлоградский химический завод“ разработаны эмульсионные ВВ марки „ЕРА-Р“ II класса применения для зарядания скважин патронами диаметром от 32 до 90 мм [5]. Такие ВВ инициируются от КД или ДШ, используются в шахтах и рудниках не опасных по газу и пыли. По своим эксплуатационным характеристикам и уровню безопасности патронированные ЭВВ марки „ЕРА“ выгодно отличаются от традиционного аммонита №6 ЖВ (табл. 2).

Таблица 2

Сравнительная характеристика патронированных ВВ (Ø32–90мм)

Характеристики	ЭВВ „ЕРА-Р“ (Ø32–90мм)	Аммонит 6ЖВ (Ø32–90мм)
Теплота взрыва, МДж/кг	3,6–4,2	4,1
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,05–1,2	0,9–1,0
Скорость детонации, км/с	4,8–5,2	3,6–4,3
Чувствительность к механическим воздействиям к удару к трению	Низкая >50Дж >180Н	Высокая <20Дж <60Н
Водоустойчивость	Высокая	Низкая
Токсичность продуктов взрыва	Низкая (<15 л/кг)	Средняя (60–80л/кг)
Класс опасности (по токсичности ВВ)	3	2

Патронированные ЭВВ „ЕРА-Р“ также могут применяться в качестве патронов-боевиков при инициировании взрывания скважинных зарядов малочувствительных ВВ.

В настоящее время в подземных условиях Запорожского ЖРК и ГП „ВостГОК“ использовано почти 500 тонн патронированных ЭВВ марки „ЕРА-Р“.

**Выводы.** Эффективность использования ВВ простейшего состава в подземных условиях зависит от крепости и обводненности пород, а также от физической стабильности взрывчатой смеси.

При взрывных работах необходимо исключить использование ВВ, несбалансированных по кислородному балансу или с нестабильным составом компонентов, изменяющихся в зависимости от горно-геологических условий применения ВВ в скважинах.

#### Список литературы / References

- Ефремов Э.И. Опыт использования простейших ВВ на карьерах Украины / Ефремов Э.И. // Украинский союз инженеров горняков. Информационный бюллетень – 2010 – №4. – С. 9–11.
- Yefremov, E.I. (2010), “Experience of Use of Simple Explosives in Open-Cast Mines of Ukraine”, *Ukrainian Union of Mining Engineers, Information Bulletin no.4*, pp. 9–11.
- Крысин Р.С. Современные взрывчатые вещества местного приготовления / Р.С. Крысин, В.Н. Домничев – Днепропетровск.: Наука и образование, 1998. – 140с.
- Krysin, R.S. and Domnichev, V.N. (1998), *Sovremennye vzryvchatye veshchestva mestnogo proizvodstva* [Modern Explosives of Local Production], Nauka i obrazovanie, Dnepropetrovsk, Ukraine.

3. Захаренков Е.И. Состояние взрывного дела на Украине. Государственный надзор в сфере обращения со взрывчатыми материалами промышленного назначения / Захаренков Е.И. // Украинский союз инженеров горняков. Информационный бюллетень – 2010. – №4. – С. 3–8.

Zakharenkov, Ye.I. (2010), “State of blasting in Ukraine. State supervision in the treatment of industrial explosives”, *Ukrainian Union of Mining Engineers, Information Bulletin* no.4, pp.3–8.

4. Мельников Н.В. Повышение полезной работы взрыва при отбойке полезных ископаемых / Мельников Н.В. // Взрывное дело – М.: Недра. – № 54/11 – С. 7–34.

Melnikov, N.V., “Increase of explosion efficiency during cutting of mineral resources”, *Vzryvnoye delo*, no.54/11, Nedra, Moscow, pp. 7–34.

5. Шиман Л.Н. Передовые high-tech технологии для обеспечения безопасности проведения буровзрывных работ / Шиман Л.Н., Устименко Е.Б. // Украинский союз инженеров горняков. Информационный бюллетень – 2008. – №11. – С. 17–29.

Schiman, L.N. and Ustimenko, Ye.B. (2008), “Advanced technology for ensuring the safety during drilling and blasting”, *Ukrainian Union of Mining Engineers, Information Bulletin* no.11, pp. 17–29.

**Мета.** Метою роботи є вибір типів простих вибухових речовин (ВР) і теоретичне обґрунтування доцільності та практичної необхідності переходу на економічні, екологічно безпечні й надійні безтритиллові вибухові речовини.

**Методика.** Для визначення перспектив використання безтритилових ВР на рудниках з підземним видобутком корисних копалин використовують загальнонаукові та спеціальні методи дослідження: методи математичного, статистичного та графічного моделювання; метод системного підходу; метод економіко-математичного моделювання.

**Результати.** Ефективність використання ВР найпростішого складу в підземних умовах залежить від міцності та обводненості гірських порід, а також від фізичної стабільності вибухової суміші. При вибухових роботах необхідно виключити використання ВР незбалансованих за кисневим балансом або з нестабільним складом компонентів, що змінюються в залежності від гірничо-геологічних умов застосування ВР у свердловинах.

**Наукова новизна.** Встановлено, що при однаковому хімічному складі фізичні відмінності сумішей обумовлюють, перш за все, різні значення величин критичного  $d_{cr}$  і граничного  $d_{gr}$  діаметрів заряду. Так суміш дизельного палива з непористою селітрою має  $d_{cr} = 120–160$  мм у патронах у паперовій оболонці, а з пористою селітрою – 70–100 мм.

Критичні параметри детонації та вибухові характеристики ігданіта при діаметрі заряду менше граничного у значному ступені залежать від властивостей гранул селітри, їх пористості, всмоктуючої здатності щодо дизельного палива, питомої поверхні та ін.

**Практична значимість.** У рамках забезпечення гірничодобувних підприємств України водостійкими та безпечними в обігу патронованими ВР рекомендовано застосовувати розроблені емульсійні ВР марки „ЕРА-Р“ II класу застосування для заряджання свердловин патронами діаметром від 32 до 90 мм. Такі ВР ініціюються від капсуль-детонатора (КД) або детонуючого шнура (ДШ) і використовуються у шахтах і рудниках безпечних за газом і пилом. За своїми експлуатаційними характеристиками та показниками безпеки патронувані ЕВР марки „ЕРА“ вигідно відрізняються від традиційного амоніту № 6 ЖВ.

**Ключові слова:** безтритиллові ВР, підземне видобування, руда, гірські породи, свердловини

**Purpose.** To choose the simplest types of explosives and provide the theoretical and practical rationale for the change-over to economical, safe and environment friendly TNT-free explosives.

**Methodology.** To determine the prospects of TNT-free explosives use in ore mines with underground production we have used following scientific and special methods: methods of mathematical, statistical and graphical simulation, method of systematic approach, method of economic and mathematical modeling.

**Findings.** The effectiveness of use of simple explosives in the underground conditions depends on strength and water content of rocks, as well as on the physical stability of the explosive mixture.

During blasting it is necessary to exclude the use of explosives with oxygen disbalance or containing unstable components which vary depending on the geological conditions in the wells.

**Originality.** We have found out that the explosive mixtures of equal chemical composition but different by physical features this displacement have different values of the critical limit and  $d_{cr}$ ,  $d_{gr}$  charge diameter. Thus, the mixtures of diesel fuel with nonporous nitrate and with porous nitrate in cartridges with hard shell have  $d_{cr}$  of 120–160 mm and 70–100 mm respectively. Critical parameters of detonation and explosive characteristics of igdanite with charge diameter under the limit strongly depend on the properties of nitrate granules, their porosity, absorbency regarding diesel fuel, surface area, etc.

**Practical value.** To supply the mining companies of Ukraine with waterproof and safe explosives it is recommended to use emulsion explosives of “ЕРА-Р” brand of 2<sup>nd</sup> class for loading cartridges with diameter of 32–90 mm into wells. These explosives are initiated from a blasting cap or the detonator fuse and are used in mines which are not dangerous by of gas and dust parameters. By performance and safety the packaged explosives of “ЕРА” brand excel traditional ammonite no.6 ZhV.

**Keywords:** TNT-free explosives, underground mining, ore, rock, well

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук Л.М. Варавою. Дата надходження рукопису 18.10.12.