

© А.В. Курляк¹

¹ ДП «Науково-виробниче об'єднання «Павлоградський хімічний завод», Павлоград, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ПІДПАЛЮВАННЯ ДОСЛІДНОГО ЗРАЗКА ЗАПОБІЖНОЇ ЕМУЛЬСІЙНОЇ ВИБУХОВОЇ РЕЧОВИНИ ІV КЛАСА

© А. Kurliak¹

¹ State Enterprise “Research-Industrial Complex “Pavlograd Chemical Plant”, Pavlograd, Ukraine

DETERMINING THE IGNITION PROPERTY OF A TEST SAMPLE OF A SAFETY EMULSION EXPLOSIVE OF CLASS IV

Мета. Визначення переваги дослідних зразків запобіжних емульсійних вибухових речовин, отриманих на Державному підприємстві «Науково-виробниче об'єднання «Павлоградський хімічний завод» (ДП «НВО «ПХЗ»)), перед тротилвмісними запобіжними вибуховими речовинами по показнику підпалювання.

Методи дослідження. Під час виконання досліджень на підпалювання дослідного зразка запобіжної емульсійної вибухової речовини ІV класу використовувалась методика «Визначення підпалювання запобіжних вибухових речовин», розроблена ДП «НВО «ПХЗ». Для визначення тиску при підпалюванні вибухової речовини використовували метод визначення стійкості запобіжних вибухових речовин проти вигорання.

Результати. Було проведено експериментальне визначення підпалювання дослідних зразків запобіжних емульсійних вибухових речовин за допомогою манометричної бомби, в якій випробовувалась наважка з запалюючим складом. По зміні кількості маси запалюючого складу визначили підпалювання дослідного зразка запобіжної емульсійної вибухової речовини. Використовуючи експериментальні значення показника підпалювання дослідного зразка визначили параметр тиску, при якому відбувається підпалювання вибухової речовини.

Наукова новизна. Був проведений аналіз експериментальних результатів показника підпалювання дослідних зразків запобіжних емульсійних вибухових речовин, отриманих на ДП «НВО «ПХЗ». Встановлена перевага запобіжних емульсійних вибухових речовин за показником підпалювання перед тротилвмісними запобіжними вибуховими речовинами.

Практичне значення. Виготовлені зразки запобіжних емульсійних вибухових речовин пройшли випробування за визначенням показника підпалювання. Отримані результати свідчать, що використання запобіжних емульсійних вибухових речовин веде до поліпшення безпеки підричних робіт у вугільних шахтах небезпечних за вибухом газу та пилу та можуть бути використані при подальшому виробництві вітчизняних запобіжних емульсійних вибухових речовин ІV класу.

Ключові слова: емульсійні вибухові речовини, манометрична бомба, показник підпалювання, запалюючий склад.

Вступ. В останні роки в Україні проведена велика робота, яка спрямована на підвищення безпеки та ефективності підричних робіт але, незважаючи на це,

вони продовжують залишатися джерелом можливої загрози. Для проведення підричних робіт у вугільних шахтах, небезпечних за газом та пилом допускається застосування запобіжних вибухових речовин (ЗВР) [1]. В практиці застосування яких зустрічаються випадки нестабільного вибухового горіння зі швидкостями в десятки й сотні метрів на секунду. Таке вибухове перетворення називають вигорянням, або дефлаграцією ВР [2].

Однією з причин запалення метано- й пилоповітряних сумішей під час підричних робіт є вигоряння шпурових зарядів запобіжних вибухових речовин. Неодноразово висловлювалися припущення, якщо у середині шпура за будь-якими причинами замість нормальної детонації шпурового заряду відбувається його вигоряння, то вірогідність займання вибухонебезпечного середовища різко зростає [3]. Це припущення підтверджується тим, що при використанні ВР, у середньому на кілька десятків тон відбувається одне вигоряння, а кількість запалень метаноповітряних сумішей від вигоряючих зарядів становить у середньому більше 20% [3]. Не виключається також можливість того, що горіння шпурового заряду через якийсь час може перейти у вибух і існує небезпека травмування при цьому майстра-підричника, що повернувся до вибою для огляду місця вибуху. При горінні ВР утворюється набагато більше отруйних газів (NO і CO), чим при його вибуху, що може викликати отруєння працюючих [4]. Крім того вигоряння, навіть ті, що не призвели до аварій і травматизму, порушують технологічний процес видобутку вугілля. Горіння ЗВР небезпечно з тієї причини, що більш повільна в порівнянні з детонацією взаємодія продуктів горіння (полум'я) з вибухонебезпечним середовищем при досить високій їхній температурі (800—1000°C) створює умови запалення середовища.

У роботі [5] була вивчена здатність до горіння ЗВР. За міру здатності ВР до горіння запропоновано приймати мінімальну температуру, при якій горіння може поширитися на повітрі. Введення до складу ВР нітрогліцерину підвищувало здатність до горіння.

При розгляді процесу вигоряння відбувається наступне: спочатку відбувається підпалювання ВР, а потім його горіння, яке може приймати різні режими. В дослідженнях, присвячених вивченню горіння [6], йде річ про те, що існують два режими горіння: нестійкий та стаціонарний. Під стаціонарним режимом розуміють горіння, коли створений в зарядній камері тиск постійний або його зміна компенсується зміною швидкості горіння ВР. Нестійкий режим горіння характеризується тим, що тиск завжди має градієнт в сторону зменшення або збільшення. В першому випадку нестійкого режиму тиск досягає величини, коли ВР горіти не може та відбувається згасання горіння, в другому випадку горіння може переходити до конвективного режиму горіння, що супроводжується розкидом ВР в продуктах горіння, різким збільшенням швидкості горіння та переходом до детонації заряду ВР.

Одним з важливих характеристик ЗВР, що впливають на вигоряння заряду ЗВР, є підпалювання. Під підпалюванням - розуміємо займання ВР в умовах замкнутості і герметичності шпура, забезпечених набійкою.

Поняття «підпалювання ВР» втілює в себе той зміст, коли займання ВР відбувається внаслідок теплової передачі та прогріву складу продуктами вибуху. Підпалювання ВР та утворення продуктів його горіння відбувається не відразу після відмови детонації, а через проміжок часу, необхідний для прогріву ВР до температури його займання.

Постановка проблем. Проблема зниження вірогідності вигорянь шпурових зарядів ЗВР є досить актуальним питанням.

Велика небезпека вигоряючих зарядів ВР пояснюється тим, що процес горіння заряду ВР відбувається протягом тривалого часу (у деяких випадках, що спостерігалися на практиці, горіння тривало кілька десятків хвилин). За цей час із відбитої вибухом гірської маси може виділитися кількість метану, достатня для утворення вибухонебезпечної концентрації в привибійному просторі.

Тому необхідність створення ЗВР, яке буде забезпечувати більшу надійність проти вигоряння, ніж тротилвмісні ВР, є важливою задачею. Амоніт ПЖВ-20 - найбільш розповсюджена ЗВР в Україні, яка має велику здатність до вигоряння.

Одним з найбільш перспективних напрямків розвитку вітчизняних ЗВР є створення запобіжних емульсійних ВР (ЕВР). Розвиток виробництва та вдосконалення властивостей запобіжних вибухових речовин в Україні має надійну перспективу, пов'язану з виробничою базою [7-9].

Створення запобіжного середовища під час ведення підривних робіт забезпечує вибухозахист гірської виробки шляхом запобігання вибуху вибухонебезпечного середовища від джерел, якими можуть бути заряди, що детонують або вигоряють. Запобіжне середовище у привибійній частині гірської виробки створюється підривним розпиленням води або порошку інгібітору з поліетиленових посудин і інгібіторною набійкою шпурів. Досвід підривних робіт показує, що створення запобіжного середовища у виробці залежить від ефективності використаних засобів вибухозахисту й людського фактора, що зводиться до безумовного їхнього застосування. Однак часто засоби вибухозахисту не застосовуються. З огляду на це, створення запобіжного середовища у вибої гірської виробки повинне забезпечуватися застосованими при підривних роботах ЗВР. Цей напрямок базується на застосуванні в складах ЗВР ефективних солей інгібіторів реакції окислювання метану киснем повітря.

Враховуючи наведену вище інформацію можливо зробити висновок о необхідності дослідження підпалювання запобіжних ЕВР з вмістом інгібіторів.

Метою роботи є визначення переваги дослідних зразків запобіжних ЕВР, отриманих на ДП «НВО «ПХЗ», перед тротилвмісними ЗВР по показнику підпалювання.

Основний матеріал. На ДП «НВО «ПХЗ» була розроблена рецептура першої вітчизняної запобіжної ЕВР [5]. Рецептура наведена в таблиці 1.

Таблиця 1

Склад розробленої запобіжної ЕВР

Компоненти	Вміст, %
Емульсійна основа ЕВР	83
NaNO ₃	4
NH ₄ NO ₃	9
NH ₄ Cl	8
Мікросфери (понад 100 %)	3

Щільність зразків патронуванних запобіжних ЕВР дорівнювала 1,05-1,12 г/см³. Для надання запобіжних властивостей в якості полум'ягасника використовували хлористий натрій.

В склад ЕВР вводили нитрат натрію та хлористий амоній. Хлористий натрій «синтезували» при приготуванні ВР внаслідок іонообмінної реакції [10]:



Це дає ту перевагу, що хлористий натрій утворюється під час вибухового перетворення в дрібнодисперсному вигляді.

Для визначення стійкості проти вигорання використовували методику «Визначення підпалювання запобіжних вибухових речовин», розроблену ДП «НВО «ПХЗ». Методика досить повно моделює процес підпалювання патрона ВР у шпурі з непорушеною герметизацією зарядної камери у випадку згасання детонації (або ускладнення передачі її через пробку породи, вугілля або повітряний проміжок) шпурового заряду, так і у випадку аномального спрацьовування електродетонатора в патроні-бойовику. У її основу окладений метод визначення підпалювання ЗВР [11,12]. Ця методика ґрунтується на підпалюванні випробуваного ВР від теплового імпульсу під час згорання певної наважки складу, що запалюється.

Випробування проводили у герметичній манометричній бомбі. Схема випробування зразка дослідної ВР для визначення підпалювання ВР в манометричній бомбі зображена на рисунку 1.

Джерелом запалювання ВР була наважка запалюючого складу, що складалася з 50% аміачної селітри і 50% колоксиліну, яка поміщена в гільзу із спеціального паперу. Гравіметрична щільність складу в гільзі близько 0,5 г/см³. Досліджуваний заряд являв собою шашку ВР діаметром 35 мм і висотою 11 мм. Для забезпечення необхідної щільності ВР змінюється маса шашки, а її розміри залишаються незмінними. При горінні запалюючий склад утворює продукти згорання, аналогічним продуктам вибуху основних промислових ВР. Досліджуваний зразок запобіжної ЕВР поміщають в оболонку з вугілля. Підпалювання складу, що запалюється, відбувається за допомогою шпалки від електрозапальника із жорстким кріпленням містка накалювання, пропускаючи через нього електричний струм силою 0,42 А. Провели 25 випробувань, змінюючи рівень маси запалюючого складу.

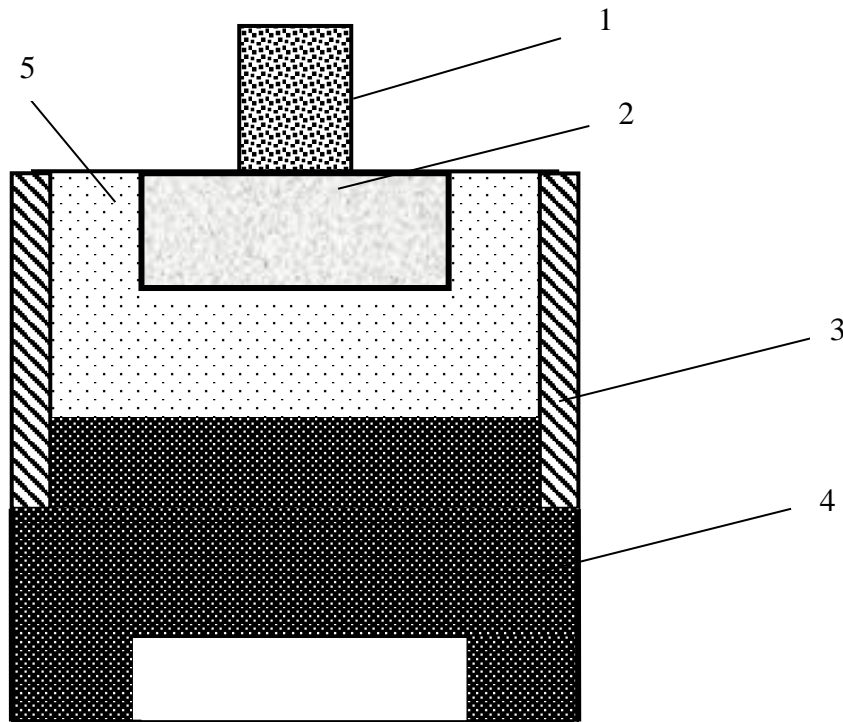


Рис. 1. Схема випробування зразка дослідної ВР для визначення підпалювання ВР в манометричній бомбі: 1 – запалюючий склад; 2 – зразок ВР; 3 – матриця; 4 – піддон; 5 – вугільний пил

Результати випробувань наведені в таблиці 2.

Критерієм оцінки запалювання дослідної ВР служить величина наважки складу, що запалюється, достатня для підпалювання цієї ВР. Чим більше маса цього складу, тобто вище температура та тиск у бомбі, який утворюються згорянням наважки складу, що запалюється, необхідні для підпалювання ВР, тим відносно менша схильність цієї ВР до вигорання.

В якості показника підпалювання приймаємо масу запалюючого складу, за допомогою якого можливо підпалити зразок ВР в манометричній бомбі з 50 % вірогідністю – Π_{50} . [12]. Критерієм оцінки запалювання дослідної ВР служить величина наважки складу, що запалюється, достатня для підпалювання цієї ВР. Чим більше маса цього складу, тобто вище температура та тиск у бомбі, який утворюються згорянням наважки складу, що запалюється, необхідні для підпалювання ВР, тим відносно менша схильність цієї ВР до вигорання.

В якості показника підпалювання приймаємо масу запалюючого складу, за допомогою якого можливо підпалити зразок ВР в манометричній бомбі з 50 % вірогідністю – Π_{50} [12].

Після проведення випробувань зразків запобіжних ЕВР на підпалювання провели обробку результатів та розрахували показник підпалювання $\Pi_{50} = 4,315$ г.

Критерієм оцінки запалювання дослідної ВР служить величина наважки складу, що запалюється, достатня для підпалювання цієї ВР. Чим більше маса

цього складу, тобто вище температура та тиск у бомбі, який утворюються згорянням наважки складу, що запалюється, необхідні для підпалювання ВР, тим відносно менша схильність цієї ВР до вигорання.

Таблиця 2
Результати випробувань зразків запобіжних на підпалювання

№ випробування	Вага запалюючого складу, г	Результати випробувань, г
1	3,64	Немає займання
2	4,09	Немає займання
3	4,09	Немає займання
4	4,09	Немає займання
5	4,09	Немає займання
6	4,09	Немає займання
7	4,09	Немає займання
8	4,09	Немає займання
9	4,09	Немає займання
10	4,09	Немає займання
11	4,09	Немає займання
12	4,09	Немає займання
13	4,09	Займання
14	3,64	Немає займання
15	4,09	Немає займання
16	4,09	Займання
17	3,64	Немає займання
18	4,09	Займання
18	4,09	Немає займання
20	4,09	Немає займання
21	3,64	Немає займання
22	4,09	Немає займання
23	4,09	Займання
24	3,64	Немає займання
25	4,09	Немає займання

В якості показника підпалювання приймаємо масу запалюючого складу, за допомогою якого можливо підпалити зразок ВР в манометричній бомбі з 50 % вірогідністю – Π_{50} [12].

Після проведення випробувань зразків запобіжних ЕВР на підпалювання провели обробку результатів та розраховали показник підпалювання $\Pi_{50} = 4,315$ г.

Використовуючи експериментальне значення показника підпалювання ВР - Π_{50} [13] отримуємо параметр тиску, при якому відбувається підпалювання зразка запобіжної ЕВР:

$$P_6 = (79,784 \times P_{50} - 23,759) \times 10^{-1}, \quad (1)$$

де значення коефіцієнта підпалювання $P_{50} = 4,315$.

$$P_6 = (79,784 \times 4,315 - 23,759) \times 10^{-1} = 32,05, \text{ МПа,}$$

Коефіцієнт кореляції залежних показників склав $r=0,95$, а розбіг даних не перевищує 5 % від експериментальних значень.

Значення P_{50} та величину тиску, розраховану за рівнянням (1), внесемо до таблиці 3, в якій дані про тиск продуктів горіння при підпалюванні та значення підпалювання для відомих ЗВР наведені з роботи [13]

Таблиця 3

Підпалювання ЗВР

Показники підпалювання	Амоніт Т-19	Угленіт Е-6	Угленіт 12 ЦБ	Угленіт 13 П	Угленіт 10 П	Дослідні зразки запобіжних ЕВР
Підпалювання, P_{50} , г	0,8	0,81	0,74	1,67	1,72	4,315
Тиск при підпалюванні ВР (P_6), Мпа	4,5	4,5	3,5	10,9	11,3	32,05

Згідно з даних таблиці 3 бачимо, що показник підпалювання дослідних зразків запобіжних ЕВР вище, ніж у тротилвмісних ЗВР та найбільший тиск продуктів горіння при підпалюванні. Це свідчить про те, що використання запобіжних ЕВР призведе до поліпшення безпеки підривних робіт у вугільних шахтах небезпечних за газом та пилом.

Використання в складі дослідних зразків запобіжних ЕВР іонообмінних компонентів дозволило створити запобіжні ЕВР з поліпшеними властивостями проти вигорання.

Висновки. Виготовлені зразки запобіжних емульсійних вибухових речовин пройшли випробування за визначенням показника підпалювання. Отримані результати свідчать, що використання запобіжних емульсійних вибухових речовин веде до поліпшення безпеки підривних робіт у вугільних шахтах небезпечних за газом та пилом та можуть бути використані при подальшому виробництві вітчизняних запобіжних емульсійних вибухових речовин IV класу.

В якості інгібітора займання метана був обран NaCl, отриманий внаслідок іонообмінної реакції.

Дослідні зразки запобіжних ЕВР відносяться до ЗВР IV класа. Ці запобіжні ЕВР не містять тротил та є екологічно чистими ЗВР для вугільних шахт небезпечних за газом та пилом. Отримані результати після проведення додаткових досліджень можуть бути використані при виготовленні вітчизняної промислової запобіжної ЕВР.

Перелік посилань

1. *Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення: НПАОП 0.00-1 66-13* (2013). ЛЕТЦ.
2. Дубнов, Л.В., Бахаревич, Н.С., & Романов, А.И. (1988). *Промышленные взрывчатые вещества*. Недра.
3. Толстых, К.С., & Бутуков, А.Ю. (1983). Пути дальнейшего снижения травматизма при взрывных работах в угольных шахтах. Уровень, динамика и причины производственного травматизма на угольных шахтах при ведении взрывных работ. *Сб. научн. тр. МакННИИ*. 3-5.
4. Соболев, В.В., Терещук, Р.М., & Григор'єв, О.Є. (2017) *Технологія та безпека виконання підривних робіт*. НГУ.
5. Audibert, E., & Delmas, L. (1936). *Ann. des Mines*.
6. Калякин, С.А., Шевцов, Н.Р., Лабинский, К.Н., & Купенко, И.В. (2001). Влияние забойки на процесс поджигания и выгорание шпурового заряда ВВ. *Наукові праці Дон НТУ. Серія «Гірничо-геологічна»*, 36, 18-26 .
7. Шиман, Л.Н., Устименко, Е.Б., Голинько, В.И., & Соболев, В.В. (2013). *Безопасность процессов производства и применения эмульсионных взрывчатых веществ с компонентами утилизируемых вооружений*. «Лира»
8. Шиман, Л.Н., Устименко, Е.Б., & Соболев, В.В. (2008). Использование продуктов переработки твердого ракетного топлива в промышленных эмульсионных ВВ. *Вісті Донецького гірничого інституту*, 1, 199-204.
9. Шиман, Л.Н., & Соболев, В.В. (2009). Исследование некоторых свойств эмульсий с добавками воды, использованной в процессе гидроразмыва твердого ракетного топлива. *Научный Вісник НГУ*, 11, 17-19.
10. Курляк, А.В., Соболев, В.В., Устименко, Е.Б., & Балакин, О.А. (2018). Предохранительные эмульсионные взрывчатые вещества. Оценка рецептурных факторов влияния на свойства. *Сборник научных трудов Национального горного университета*, (56), 42–49.
11. Кондриков Б.Н., Козак Г.Д. (1973) Изучение воспламеняемости предохранительных ВВ в присутствии угля. *Безопасность взрывных работ в шахтах: Сб. «Взрывное дело»*, 72/29, 217-225.
12. Зенин, В.И., & Казачков, В.С. (1983). Метод определения устойчивости предохранительных ВВ против выгорания. *Повышение эффективности и безопасности взрывных работ: Сб. «Взрывное дело»*, 84/41, 97-103.
13. Казачков, В.С. (1983). Применение статистических методов при определении поджигаемости предохранительных взрывчатых веществ. *Безопасность взрывных работ, улучшение проветривания в угольных шахтах. Сб. научных трудов МакННИИ*, 14-15.

АННОТАЦИЯ

Цель. Определение преимущества опытных образцов предохранительных эмульсионных взрывчатых веществ, полученных на Государственном предприятии «Научно-производственное объединение» «Павлоградский химический завод» (ГП «НПО «ПХЗ»), перед тротилсодержащими предохранительными взрывчатыми веществами по показателю поджигаемость.

Методы исследования. При проведении исследований опытного образца предохранительного эмульсионного взрывчатого вещества IV класса на поджигаемость использовалась методика «Определение поджигаемости предохранительных взрывчатых веществ», разработанная ГП «НПО «ПХЗ». Для определения давления при поджигании взрывчатых веществ использовали метод определения устойчивости взрывчатых веществ против выгорания.

Результаты. Было проведено экспериментальное определение поджигаемости опытных образцов предохранительных эмульсионных взрывчатых веществ при помощи манометрической

бомбы, в которой испытывалась навеска с воспламеняющим составом. По изменению количества массы воспламеняющего состава определили поджигаемость опытного образца предохранительного эмульсионного взрывчатого вещества. Используя экспериментальные значения показателя поджигаемости опытного образца определили параметр давления, при котором происходило поджигание взрывчатого вещества.

Научная новизна. Был проведён анализ экспериментальных результатов показателя поджигаемости опытных образцов предохранительных эмульсионных взрывчатых веществ, полученных на ГП «НПО «ПХЗ». Определено преимущество предохранительных эмульсионных взрывчатых веществ по показателю поджигаемость перед тротилсодержащими предохранительными взрывчатыми веществами.

Практическое значение. Изготовленные образцы предохранительных эмульсионных взрывчатых веществ прошли испытания по определению показателя поджигаемости. Полученные результаты свидетельствуют о том, что использование предохранительных эмульсионных взрывчатых веществ ведёт к улучшению безопасности взрывных работ в шахтах опасных по взрыву газа и пыли и могут использоваться в дальнейшем при производстве отечественных предохранительных эмульсионных взрывчатых веществ IV класса.

Ключевые слова: *эмульсионные взрывчатые вещества, манометрическая бомба, показатель поджигаемости, воспламеняющий состав.*

ABSTRACT

Objective is to determine the advantages of test samples of safety emulsion explosives produced at the State Enterprise “Research-Industrial Complex “Pavlograd Chemical Plant” (SE “RIC “PCP”), comparing to the trotyl-containing safety explosives, in terms of their ignition property index.

Research methods. The methodology “Determination of the ignition property index of safety explosives”, developed by the SE “RIC “PCP”, has been used while studying a test sample of a safety emulsion explosive of class IV for its ignition property. To determine pressure while firing the explosives, a method for identifying the explosive resistance to deflagration has been applied.

Findings. Ignition property of test samples of safety emulsion explosives has been determined experimentally with the help of a manometric bomb where a charge with the igniting compound has been tested. Ignition properties of a test sample of a safety emulsion explosive have been specified in terms of the changes in the igniting compound mass. Experimental values of the ignition property index of a test sample have made it possible to define the pressure parameter, at which explosive ignition takes place.

Originality. Experimental results of the ignition property index of test samples of the safety emulsion explosives produced by SE “RIC “PCP” have been analyzed. Advantages of the safety emulsion explosives have been defined in terms of the ignition property index comparing to the trotyl-containing safety explosives.

Practical implications. The manufactured samples of safety emulsion explosives have been tested to identify their ignition property index. The obtained results show that the use of safety emulsion explosives results in the improved safety of blasting operations in mines dangerous in gas and dust explosion; the explosives may be used while manufacturing domestic safety emulsion explosives of class IV.

Key words: *emulsion explosive, manometric bomb, ignition property index, igniting compound.*