

УДК 662.242: 662.2-398.4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РИСКОВ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ И ЗАРЯДКЕ ЭМУЛЬСИОННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ МЕСТНОГО ПРИГОТОВЛЕНИЯ В СООТВЕТСТВИИ СО СТАНДАРТАМИ ЕВРОСОЮЗА

Р. В. Закусило

Шосткинський інститут Сумського Государственного университета

ул. Гагарина, 1, г. Шостка, 41100, Україна. E-mail: r.zakusylo@ishostka.sumdu.edu.ua

Рассмотрены проблемы, связанные с оценкой безопасности и определением факторов риска при транспортировании и в процессе зарядания низкоскоростных эмульсионных взрывчатых веществ отечественного производства. Разработан типичный сценарий возникновения и развития аварийной ситуации при загрузке, транспортировке и зарядке эмульсии эмульсионных взрывчатых веществ. Рассчитаны вероятности возникновения всех типов аварийных ситуаций. Оценены риски аварийных ситуаций при перевозке и зарядке эмульсионных взрывчатых веществ местного приготовления и последствия возможных аварий. Обосновано расчетное значение социальных рисков, равное нулю. Сделаны выводы, относительно высокой безопасности использования эмульсионных взрывчатых веществ местного приготовления для открытых горных работ.

Ключевые слова: эмульсионные взрывчатые вещества, транспортировка, зарядка, риск, безопасность.

ВИЗНАЧЕННЯ РИЗИКІВ ПРИ ТРАНСПОРТУВАННІ І ЗАРЯДЖАННІ ЕМУЛЬСІЙНИХ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН МІСЦЕВОГО ПРИГОТОВУВАННЯ У ВІДПОВІДНОСТІ ДО СТАНДАРТІВ ЄВРОСОЮЗУ

Р. В. Закусило

Шосткинський інститут Сумського Державного університету

вул. Гагаріна, 1, м. Шостка, 41100, Україна. E-mail: r.zakusylo@ishostka.sumdu.edu.ua

Розглянуто проблеми, пов'язані з оцінкою безпеки і визначенням факторів ризику при транспортуванні та в процесі заряджання низькошвидкісних емульсійних вибухових речовин вітчизняного виробництва. Розроблено типовий сценарій виникнення і розвитку аварійної ситуації при завантаженні, транспортуванні та заряджання емульсії емульсійних вибухових речовин. Розраховані ймовірності виникнення всіх типів аварійних ситуацій. Оцінені ризики аварійних ситуацій при перевезенні і заряджання емульсійних вибухових речовин місцевого приготування та наслідки можливих аварій. Обґрунтовано розрахункове значення соціальних ризиків, яке дорівнює нулю. Зроблено висновки, щодо високої безпеки використання емульсійних вибухових речовин місцевого приготування для відкритих гірничих робіт.

Ключові слова: емульсійні вибухові речовини, транспортування, зарядка, ризик, безпека.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Перевозка опасных грузов, в том числе взрывчатых веществ, компонентов взрывчатых материалов и систем инициирования для горнодобывающей промышленности – актуальная практическая и научно-логистическая задача. В Украине существует ряд правил, большинство из которых достались ей со времен СССР, регламентирующих данный опасный и требующий особой скрупулезности процесс.

В рамках Евроинтеграционных процессов последних лет Украина намерена повысить безопасность логистики перевозок опасных грузов автомобильным, железнодорожным, морским и речным транспортом, а также в мультимодальном сообщении в соответствии с международными нормами и стандартами Европейского Союза [1–2].

Эмульсионные взрывчатые вещества (ЭВВ) – однородные смеси, в качестве окислителя, как правило, содержащие пересыщенный водный раствор нитрата аммония с добавкой нитрата натрия или кальция, реже – перхлоратов. Для повышения взрывчатых характеристик могут содержать добавки бризантных взрывчатых веществ (ВВ) – гексоген, или соли азотной (хлорной) кислоты и органических аминов (нитраты метиламина, этилендиамина и т.д.). Горючим служат различные синтетические масла, дизельное топливо, воск, парафин и другие невзрывчатые материалы [3–4].

Существует твердое убеждение, что в связи с отсутствием в составе эмульсионных взрывчатых веществ, каких-либо взрывоопасных компонентов, наличием значительного количества воды и текучей консистенции, это производство будет иметь чрезвычайно высокий уровень безопасности [5–6]. Несмотря на видимую безопасность эмульсионной технологии, важно помнить, что какая-либо смесь окислителя и топлива потенциально взрывоопасная и вероятность возникновения опасной ситуации, и тяжесть ее последствий зависит от чувствительности продукта к различного рода воздействиям, включая случайные, химической совместимости компонентов, характера и интенсивности технологических действий, конструкции оборудования, смесительно-зарядных машин (СЗМ) и принятых проектных решений [7]. Как показывает анализ, статистики аварий на производстве водовмещающих взрывчатых веществ, большинство случаев связаны с процессами перекачки эмульсионной матрицы.

Известны случаи возгорания ЭВВ, которые не повлекли тяжелых последствий, выгорание уплотнения в насосе по перекачке раствора окислителя, возгорание колеса смесительно-зарядной машины при транспортировке компонентов ЭВВ и прочее [7]. Как правило, авария не является следствием одной причины. Конечно, оказывается целый комплекс факторов технического, организационного и психо-

логического характера, которые вызвали аварию и определили тяжесть ее последствий.

Целью исследований является определение факторов риска при транспортировании и в процессе зарядания низкоскоростных эмульсионных взрывчатых веществ отечественного производства.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Наиболее распространенными в Украине ЭВВ являются «Украинит ПП-2Б», «Анемикс» и «Эмонит». Их общее производство превышает 100 тысяч тонн в год. По степени опасности при обращении (хранение, перевозка, доставка на место ведения взрывных работ) ЭВВ относятся к классу I, подклассу 1.5, группе совместимости «D» [4, 8], что предполагает риски по пожароопасности при транспортировке и зарядке скважин [9].

Транспортировка эмульсии ЭВВ осуществляется при температуре в СЗМ порядка 70-80 °С.

Следует учитывать, что температура экзотермического разложения ЭВВ составляет, как правило, 180-190 °С.

Для понимания направленности факторов риска следует составить типичный сценарий возникновения и развития аварийной ситуации при загрузке, транспортировке и зарядке эмульсии ЭВВ (рис. 1).

Расчеты вероятностей событий проводились по методике [10].

Расчет вероятности поражения объекта (СЗМ) молнией.

Вероятность разряда атмосферного электричества на объекте (СЗМ) вычисляем по формуле 1:

$$P_1 = 1 - \prod_{n=1}^2 [1 - P(C_n)], \quad (1)$$

где $P(C_n)$ – вероятность реализации любой из C_n причин, приведенных ниже;

n – порядковый номер причины.

$P(C_1)$ – вероятность поражения i -го элемента объекта молнией в течении года;

$P(C_2)$ – вероятность вторичного воздействия молнии на i -й элемент объекта в течении года.

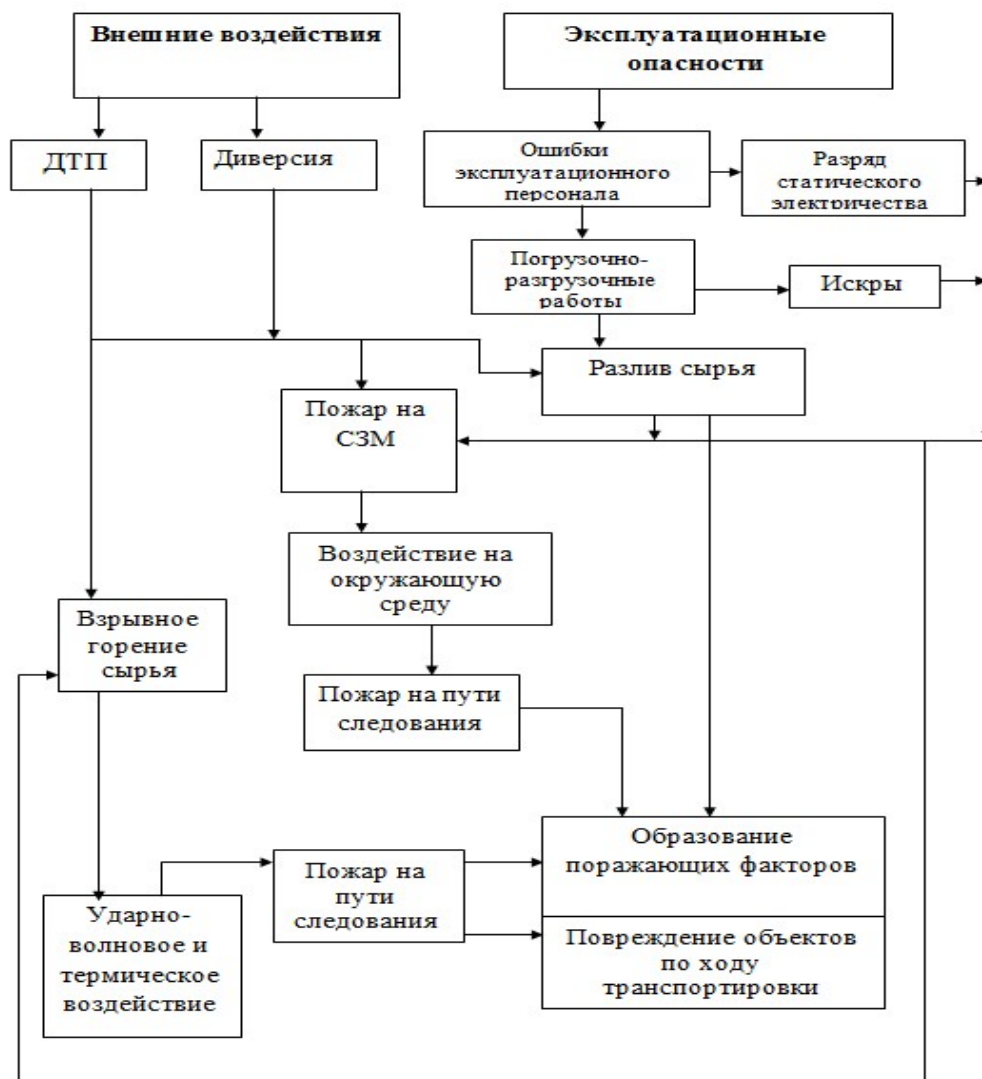


Рисунок 1 – Типичный сценарий возникновения и развития аварийной ситуации при загрузке, транспортировке и зарядке эмульсии ЭВВ

Поражение объекта молнией возможно при совместной реализации двух событий: прямого удара молнии (событие t_2) и наличие неисправности, неправильного конструктивного исполнения или отказа молниеотвода (событие t_1).

Вероятность $P(C_1)$ вычисляем по формуле

$$P(C_1) = P(t_1) \cdot P(t_2), \quad (2)$$

где $P(t_1)$ – вероятность наличия неисправности, неправильного конструктивного исполнения или отказа молниеотвода, защищающего i -й элемент объекта;

$P(t_2)$ – вероятность прямого удара молнии в i -й элемент объекта в течении года.

Вероятность $P(t_2)$ прямого удара молнии в объект (СЗМ) вычисляют по формуле:

$$P(t_2) = 1 - e^{-N_{ум} \cdot \tau_p}, \quad (3)$$

где $N_{ум}$ – число прямых ударов молнии в объект за год;

τ_p – продолжительность периода наблюдений, год;

$$N_{ум} = (S + 6H)(L + 6H) \cdot n_y \cdot 10^{-6}, \quad (4)$$

где S – длина объекта, м;

L – ширина объекта, м

H – наибольшая высота объекта, м

n_y – среднее число ударов молнии на 1 км² земной поверхности.

Габариты СЗМ берем по формуле 4, по наибольшей СЗМ-4.

$$N_{ум} = (8,2 + 6 \cdot 3,8)(4,2 + 6 \cdot 3,8) \cdot 7 \cdot 10^{-6} = 0,00586$$

$$P(t_2) = 1 - e^{-0,00586} = 0,004609.$$

Вероятность $P(t_1)$ вычисляем по формуле 5:

$$P(t_1) = \frac{k_\sigma}{\tau_p} \sum_{j=1}^m \tau_j + (1 - \beta), \quad (5)$$

где k_σ – коэффициент безопасности; $k_\sigma = 1$

τ_p – анализируемый период времени, мин;

τ_j – время существования неисправности молниеотвода при j -й сerealизации в течение года, мин;

β – вероятность безотказной работы молниезащиты; ($\beta = 0,995$)

$$\tau_{I(года)} = 365 \cdot 24 \cdot 60 = 525600 \text{ (мин)}$$

$$P(t_1) = \frac{1}{525600} \cdot 0,1 + (1 - 0,995) = 2 \cdot 10^{-7}$$

$$P(C_1) = P(t_1) \cdot P(t_2) = 2 \cdot 10^{-7} \cdot 0,004609 = 9,22 \cdot 10^{-10}$$

Вероятность $P(CI)$ вторичного воздействия молнии на объект вычисляем по формуле 6:

$$P(C_2) = P(t_2) \cdot P(t_3) \quad (6)$$

где $P(t_2)$ – вероятность отказа защитного заземления в течение года;

$$P(t_3) = 2 \cdot 10^{-5}$$

$$P(t_2) = 1 - e^{-N_{ум} \cdot \tau_p}$$

$$(8,2 + 6 \cdot 3,8 + 100)(4,2 + 6 \cdot 3,8 + 100) \cdot 7 \cdot 10^{-6} = 0,116459$$

$$P(t_2) = 1 - e^{-0,116459} = 0,10438$$

$$P(C_2) = 2 \cdot 10^{-5} \cdot 0,10438 = 2,09 \cdot 10^{-6}$$

$$P_1 = 1 - \prod_{n=1} [1 - P(C_n)] \cdot [1 - P(C_2)] =$$

$$= 1 - [1 - 9,22 \cdot 10^{-10}] \cdot [1 - 2,09 \cdot 10^{-6}] = 2,091 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Расчет вероятности возникновения аварии на СЗМ от механического удара.

Вероятность наступления нежелательного события (например, столкновение СЗМ с другим автомобилем) определяется статистически:

$$P_2 = 1 - e^{-\lambda}, \quad (7)$$

где λ – суммарная интенсивность аварийных ситуаций;

$$\lambda = \frac{1}{T}, \quad (8)$$

где T – срок безаварийной эксплуатации автомобиля (принят 15 лет) в часах (131040 часов).

$$P_2 = 1 - e^{-0,0000023} = 2,3 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Расчет вероятности возникновения аварии на объекте в результате диверсии.

По статистическим данным принято:

вероятность диверсии:

- в мирное время – 10^{-8} год^{-1}

- в военное время – 10^{-6} год^{-1}

Принимаем $P_3 = 10^{-8} \text{ год}^{-1}$.

Вероятность возникновения аварии во время эксплуатации.

Согласно статистико-вероятностным расчетам опасности перевозки химических грузов, вероятность аварии (R_4) составляет:

$$R_4 = 3 \cdot 10^{-5}.$$

Из всех рассмотренных аварий, возникающих в результате внешних воздействий, самой вероятной является авария, связанная с эксплуатацией СЗМ:

$$Q_n = 3 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

Оценка риска возможных последствий аварий.

Каждое нежелательное событие может возникнуть по отношению к определенной жертве - объекту риска. Соотношение объектов риска и нежелательных событий позволяет различать индивидуальный, технический, экологический, социальный и экономический риск.

Каждый вид риска обуславливают характерные источники и факторы риска, классификация и характеристики которых приведены в табл. 1.

Поражающие факторы крупномасштабной аварии могут иметь отрицательные воздействия на объекты «заботы» общества.

В данном случае, учитывая зоны действия поражающих факторов риска, объектом заботы являются человек или социальная группа, для которых инди-

видуальний или социальный риск достигает определенного травмирования, гибели человека, который находится в данном регионе, от возможных источников опасности объекта повышенной опасности.

Таблица 1 – Факторы риска при перевозке и зарядке ЭВВ

Вид риска	Объект риска	Источник риска	Нежелательные события
1	2	3	4
Индивидуальный	Человек	Условия жизнедеятельности человека	Заболевание, травма, инфекция, смерть
Технический	Технические системы и объекты	Техническое несовершенство, нарушение правил эксплуатации технических систем и объектов	Авария, взрыв, катастрофа, пожар, разрушение
Экологический	Экологические системы	Антропологическое вмешательство в природную среду, техногенные чрезвычайные ситуации	Антропогенные, экологические катастрофы, экологические бедствия
Социальный	Социальные группы	Чрезвычайная ситуация, снижение качества жизни	Групповые травмы, заболевания, гибель людей, рост смертности
Экономический	Материальные ресурсы	Повышенная опасность производства или природной среды	Увеличение затрат на безопасность. Ущерб от недостаточной защиты

Величину индивидуального риска получить смертельное поражение рассчитываем по формуле 9:

$$R_u = Q_u \cdot Q_{ин}, \quad (9)$$

где Q_u – вероятность возникновения аварии с взрывом продукции на опасном объекте составляет: $Q_u = 3 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$

$Q_{ин}$ – условная вероятность поражения человека избыточным давлением на расстоянии r от эпицентра.

Смертельное поражение человека возможно при избыточном давлении ударной волны $\Delta P = 60 \text{ кПа}$.

$$Q_{ин} = 0$$

$$R_{ин} = 3 \cdot 10^{-5} \cdot 0 = 0 \text{ год}^{-1}$$

Социальный риск - вероятность гибели людей свыше определенного количества (или ожидаемое количество погибших) в данном регионе на протяжении года от возможных источников опасности с учетом вероятности их пребывания в зоне поражения.

Так как действие поражающих факторов крупномасштабной аварии при перевозке, загрузке, зарядке эмульсии ЭВВ (возгорание всего объема эмульсии, с возможным переходом во взрывное горение) способных привести к смертельному исходу, распространяется только по территории предприятия или карьера и не затрагивает объекты «заботы» общества - социальный риск от аварии данного типа равен 0.

ВЫВОДЫ. Из всех рассмотренных аварий при перевозке, загрузке, зарядке эвв, возникающих в результате внешних воздействий, самой вероятной является авария смесительно-зарядной машины, связанная с ее эксплуатацией: $q_{и} = 3 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$. Разумеется, в данном случае, чем ближе к карьере находится производитель эмульсии, тем ниже риски при ее транспортировке. Чем меньше населенных пунктов и объектов «заботы» по пути следования, тем ниже фактор риска.

Так как действие поражающих факторов крупномасштабной аварии при перевозке, загрузке, зарядке эмульсии ЭВВ (возгорание всего объема эмульсии, с возможным переходом во взрывное горение), способных привести к смертельному исходу, распространяется только по территории предприятия или карьера и не затрагивает объекты «заботы» общества - социальный риск от аварии данного типа равен 0.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рекомендации по перевозке опасных грузов. Руководство по испытаниям и критериям. / ST/SG/AC. 10/1 I/Rev. 2. ООН, Нью-Йорк и Женева, 1995.
2. Recommendations on the Transport of Dangerous Goods: Manual of Tests and Criteria (2009) ST/SG/AC. 10/11/Rev. 5. UN, New York and Geneva., 456 p.
3. Guang Wang Xu. Emulsion explosives.– Beijing: Metallurgical Industry Press, 1994. – 388 p.
4. Колганов Е.В., Соснин В.А. Эмульсионные промышленные взрывчатые вещества В 2 кн. Кн. 1. Составы и свойства.– Дзержинск: ГосНИИ «Кристалл», 2009. – 592 с.
5. Основы рецептуры, технологий приготовления и применения эмульсионных ВВ 1 класса / Р.С. Крысин, А.И. Глушко, С.И. Кукушкин // Высокоэнергетическая обработка материалов: сб. тр. ДГАУ. – Днепропетровск, 1995.– Т.1. – С. 33–37.
6. Оцінка детонаційних характеристик емульсійних вибухових речовин марки Україніт та Емоніт / В.П. Купрін, О.Ю. Вілкул, М.І. Іщенко, О.В. Колтунов // Інформац. бюл. УСІВ.– 2012.– № 1.– С. 6–12.

7. Основные конструктивные особенности смесительно-зарядной машины «Украинит» / Р.С. Крысин, М.Б. Колесаев, В.З. Небогин и др. // Разработка и изготовление смесительно-зарядной техники: сб. тр. междунар. конф. – Белгород, 2005. – С. 66–69.

8. Купрін В.П., Коваленко І.Л. Розробка і впровадження емульсійних вибухових речовин на кар'єрах України. – Дніпропетровськ: УДХТУ, 2012. – 244 с.

9. Control of the seismic effect of mass explosions using low-speed means of initiation / R.V. Zakusylo, V.G. Kravets, V.V. Boiko // Journal "Metallurgical and mining industry", "Materials science", № 3. – 2016. – P. 99–104.

10. Методика визначення ризиків і їх прийнятних рівнів для декларування безпеки ОПН / Затверджена наказом Міністерства праці і соціальної політики України від 04.12.2002 р. № 637.

DETERMINATION OF RISKS IN TRANSPORTATION AND CHARGING OF LOCALLY PREPARED EMULSION EXPLOSIVES UNDER THE CONFORMITY WITH THE STANDARDS OF THE EUROPEAN UNION

R. Zakusylo

Shostka Institute of Sumy State University

vul. Gagarina, 1, Shostka, 41100, Ukraine. E-mail: r.zakusylo@ishostka.sumdu.edu.ua

Purpose. To determine risk factors during transportation and in the process of charging low-speed emulsion explosives of local preparation. **Methodology.** The method of mathematical analysis, based on the theory of probability, has been applied in the work. Methodology for determining the risks and the iracceptable levels for the declaration of safety of objects of increased danger has been used. **Results.** The problems associated with the assessment of safety and the determination of risk factors during transportation and during the charging of low-speed emulsion explosives of local production have been considered. A typical scenario for the emergence and development of an emergency situation during the loading, transportation and charging of an emulsion explosive has been developed. The probability of occurrence of all types of emergency situations has been calculated. The calculated value of social risks equal to zero has been justified. Conclusions have been drawn for the relatively high safety of using local emulsion explosives. **Originality.** For the first time, a mathematical assessment of the danger of transporting emulsion explosives has been given. The EU requirements for determining the level of danger of transport of dangerous goods have been used. **Practical value.** On the basis of the analysis, it has been recommended to use as much as possible the emulsion explosives of Ukrainian production for blasting operations in quarries. These explosives are the safest in transportation and charging of wells. References 10, tables 1, figures 1.

Key words: emulsion explosives, transportation, charging, risk, safety.

REFERENCES

1. *Rekomendacii po perevozke opasnyh gruzov. Rukovodstvo po ispytaniyam i kriterijam* (1995), [Recommendations on the Transport of Dangerous Goods: Manual of Tests and Criteria] ST/SG/AC. 10/11/Rev. 2. UN, New York and Geneva, 460 p. [in Russian].

2. *Recommendations on the Transport of Dangerous Goods: Manual of Tests and Criteria* (2009), ST/SG/AC. 10/11/Rev. 5. UN, New York and Geneva, 456 p. [in English].

3. Guang, Wang Xu (1994), *Emulsion explosives*. Beijing: Metallurgical Industry Press, 388 p. [in English].

4. Kolganov, E.V., Sosnin, V.A. (2009), *Emulsiionnye promyshlennye vzryvchatye veschestva. V 2 kn. Kn. 1. Sostavy i svoystva* [Emulsion Industrial Explosives. In 2 books. Book 1. Compositions and properties], Dzerzinsk, GosNII Kristall, 592 p. [in Russian].

5. Krysin, R.S., Glushko, A.I., Kukushkin, S.I. (1995), *Osnovy retseptury, tehnologii prigotovleniya i primeneniya emulsiionnyh VV I klassa* [Basis of composition, technology of preparation and application of class 1 emulsion explosives] *Vysokoenergeticheskaja obrabotka materialov*, DGAU, vol. 1, pp. 33-37. [in Russian].

6. Kuprin, V.P., Vilkul, O.Yu., Ischenko, M.I., Koltunov, O.V. (2012), *Ocinka detonacijnyh harakterystyk emulsiionnyh vybuhovyh rečovyn Ukrainit ta Emonit* [Assessment of detonation characteristics of emulsion explosives of Ukrainite and Emonite],

Informacijnyj buleten USIV, vol. 1, pp. 6–12. [in Ukrainian].

7. Krysin, R.S., Kolesaev, M.B., Nebogin, V.Z. (2005), *Osnovnye konstruktivnye osobennosti smesitelno-zariadnoj mashiny "Ukrainit"* [The main design features of the Ukrainit mixer-charging machine] *Razrabotka i izgotovlenie smesitelno-zariadnoj tehniki: Sbornik trudov*, Belgorod, pp. 66–69. [in Russian].

8. Kuprin, V.P., Kovalenko, I.L. (2012), *Rozrobka i vprovadzennja emulsiionnyh vybuhovyh rečovyn na karerach Ukrainy* [Development and introduction of emulsion explosives in quarries of Ukraine.] *Dnepr, UDHTU*, 244 p. [in Ukrainian].

9. Zakusylo, R.V., Kravets, V.G., Boiko, V.V. (2016), Control of the seismic effect of mass explosions using low-speed means of initiation, *Journal "Metallurgical and mining industry", "Materials science"*, vol. 3, pp. 99–104. [in English].

10. *Metodika viznachennya rizikiv i ih priynyatnykh rivniv dlya deklaruvannya bezpeki OPN* [Methodology for determining the risks and their acceptable levels for the declaration of security of the Object of increased danger], *Zatverdzhena nakazom Ministerstva pratsii sotsial'noi politiki Ukraini vid 04.12.200, № 637*. [in Ukrainian].

Стаття надійшла 29.12.2017.