

## ОСНОВИ ПОБУДОВИ ВИБУХОБЕЗПЕЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ВИБУХОВИХ МАТЕРІАЛІВ

**Р. В. Закусило**

Шосткінський 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 технологічного процесу виробництва вибухонебезпечних матеріалів. Показано, що оцінка безпеки технологічного процесу ґрунтується на порівнянні рівня вибухових властивостей матеріалу, що переробляється, тобто визначенні умов досягнення критичних параметрів впливів, що приводять до початкового осередку загоряння і розвитку вибухових процесів, і в той же час рівнем впливів на вибухові матеріали і засоби ініціювання вироблених у процесі його переробки. Наведено вимоги до планування виробництв вибухових речовин. Розглянуто категорійність небезпечних технологічних процесів, доведено, що критерії ураження повітряною ударною хвилею при вибухах вибухових матеріалів залежать від тиску у фронті ударної хвилі. Обґрунтовано, що зниження інтенсивності вражаючих факторів і звуження зони їх дії може забезпечуватися застосуванням обвалування як активних, так і пасивних будинків. Доведено, що зниження швидкості детонації вибухових матеріалів, як правило, підвищує безпеку технологічного процесу. Зроблено висновки, щодо перспективності використання низькошвидкісних емульсійних вибухових речовин місцевого приготування.

**Ключові слова:** вибух, вибухова речовина, ударна хвиля, технологія виробництва, безпека.

## ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ВЗРЫВЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Р. В. Закусило**

Шосткинский институт Сумского Государственного университета  
ул. Гагарина 1, г. Шостка, 41100, Украина. E-mail: r.zakusylo@ishostka.sumdu.edu.ua

Рассмотрены проблемы, связанные с оценкой безопасности технологического процесса производства взрывоопасных материалов. Показано, что оценка безопасности технологического процесса основывается на сравнении уровня взрывчатых свойств перерабатываемого материала, то есть определении условий достижения критических параметров воздействий, приводящих к исходному очагу возгорания и развитию взрывных процессов, и в то же время уровнем воздействия на взрывчатые материалы и средства иницирования произведенных в процессе его переработки. Приведены требования к планированию производств взрывчатых веществ. Рассмотрена категоричность опасных технологических процессов, доказано, что критерии поражения воздушной ударной волной при взрывах взрывчатых материалов зависят от давления во фронте ударной волны. Обосновано, что снижение интенсивности поражающих факторов и сужение зоны их действия может обеспечиваться применением обваловывания, как активных, так и пассивных зданий. Доказано, что снижение скорости детонации взрывчатых материалов, как правило, повышает безопасность технологического процесса. Сделаны выводы относительно перспективности использования низкоскоростных эмульсионных взрывчатых веществ местного приготовления.

**Ключевые слова:** взрыв, взрывчатое вещество, ударная волна, технология производства, безопасность.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Виробництво небезпечних речовин, в тому числі вибухових речовин, компонентів вибухових матеріалів і систем ініціювання для гірничодобувної промисловості - актуальна практична і науково-логістична завдання. В Україні існує ряд правил, більшість з яких дісталися їй з часів СРСР, що регламентують даний небезпечний процес, що вимагає особливої точності та обережності [1].

Існує система визначення факторів ризику при транспортуванні і в процесі заряджання вибухових матеріалів (ВМ) і засобів ініціювання (ЗІ) [2–4]. Така ж система украї потрібна при їх виробництві.

Визначення рівня безпеки технологічного процесу при виробництві ВМ та ЗІ є ключовою частиною проектування виробництв промислових вибухових речовин (ВР) та систем ініціювання вибуху [5–6]. Вона ґрунтується на порівнянні рівня вибухових властивостей матеріалу, що переробляється, тобто визначенні умов досягнення критичних параметрів впливів, що приводять до початкового осередку загоряння і розвитку вибухових процесів, з одного

боку, і рівнем впливів на ВМ і ЗІ вироблених у процесі його переробки, з іншого боку [7]. Останній забезпечується надійністю і точністю роботи технологічних апаратів і контрольно-вимірювальних приладів. Точність апаратів і приладів і їхня надійність визначають не тільки якість виготовляемих із ВМ виробів, але і безпеку їхньої переробки. Наприклад, на первісному етапі відпрацювання змішувальних апаратів для приготування паливних мас використовували дозуючі (для компонентів) пристрої високої точності, але, як виявилось, з недостатнім для забезпечення технологічного циклу виготовлення виробу часом роботи на відмову (низька надійність). Таким чином, у процесі роботи могла відбуватися зміна співвідношень компонентів палива з утворенням системи, що володіє підвищеним рівнем вибухонебезпечних властивостей, тобто утворенням системи з більш високою ймовірністю виникнення аварійної ситуації (що, природно, могло відбуватися і при недостатній точності цих пристроїв). Доробка дозуючих пристроїв у частині їхньої безвідмовності (надійності) підвищили вибухобезпеку виробництва

даного класу палив.

Виробництво ВМ і особливо ЗІ належить до категорії вибухо- і пожеженобезпечних, оскільки при їхньому спорядженні використовують високочутливі до зовнішніх впливів ВР, здатні в малих кількостях легко запалюватися і детонувати від зовнішніх теплових і механічних імпульсів, які можуть випадково виникнути в процесі роботи [8].

Згадані правила регламентують норми завантаження робочих місць вибухо- і пожеженобезпечною продукцією, температуру (16–30 °С) і відносну вологість повітря (65±5 %) у робочих приміщеннях. Спецодяг працюючих має бути бавовняним, який не здатним накопичувати в процесі роботи небезпечні для ВР і ПС електростатичні заряди.

Підшва взуття має бути електропровідними. Підлоги робочих місць також покривають електропровідним матеріалом, приєднаним до лінії заземлення. На робочих місцях, пов'язаних з перевіркою електричних параметрів ЕЗ і ЕД на відповідних приладах, настил підлоги під ногами і підставка під приладами мають бути з електропровідних матеріалів [9].

Обладнання на особливо небезпечних і небезпечних операціях (прес, прилади насипки ВР та ін.) має бути встановлене в захисних залізобетонних кабінах і обслуговуватися дистанційно з пункту, розташований поза кабінами.

Основне устаткування обладнують пристроями переривання поширення детонації при випадковому вибуху.

Виробництво ініціюючих вибухових речовин (ІВР) належить до високонебезпечних технологічних і шкідливих для здоров'я працюючих процесів. У зв'язку з високою вибухонебезпечністю кількість одночасно одержуваних ІВР обмежена декількома кілограмами. До матеріалів і конструкції апаратів, режимів їхньої експлуатації висувають більш високі вимоги, ніж при виробництві БВР. По можливості всі технологічні операції механізовані, а найнебезпечніші з них – автоматизовані або керовані дистанційно – через стіну або інше укриття. Оцінка виробництв ІВР украй ускладнена, автоматизація не завжди ефективна, а підвищення безпеки проблематичне [1].

Для підвищення безпеки технологічних процесів, пов'язаних з вибуховими речовинами та засобами їх ініціювання, необхідно удосконалення загальної методики побудови вибухонебезпечних технологічних процесів [10].

Мета досліджень – встановлення критеріїв безпеки при виробництві вибухових матеріалів, визначення напрямків та шляхів підвищення безпеки праці при виробництві вибухових речовин та засобів їх ініціювання, а також перспективних типів вибухових матеріалів, що можуть підвищити безпеку праці при їх виробництві.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** При виборі технологічного процесу виготовлення виробу, з обов'язковим забезпеченням вибухобезпеки процесу його виробництва, необхідно керуватися:

– рівнем показників вибухових властивостей (чутливість до механічних впливів, схильність до пере-

ходу горіння у детонацію (ПГД), сприйнятливості до детонації і т.і.) не тільки кінцевого рецептурного регламентованого складу, але також проміжних композицій, з можливими відхиленнями вмісту вихідних вибухових компонентів від регламентованого складу;

– аналізом технологічних апаратів з погляду їх задоволення вимогам вибухобезпеки стосовно до рівня вибухових властивостей конкретного ВМ і ЗІ;

– категорійністю фаз виробництва залежно від рівня вибухозахисту встаткування для визначення мер захисту обслуговуючого персоналу при аварійній ситуації.

Наведені положення не виключають вимог чисто технологічного характеру (реологія, живучість, в'язкість і т.ін.), пропонованих до ВМ і ЗІ. Однак ці питання тут не розглядаються, а звертається увага тільки на фактори, безпосередньо пов'язані з вибухозахистом при переробці ВМ і ЗІ.

Наприклад, перхлорат амонію (ПХА) у чистому вигляді є досить безпечним ВМ і організація його переробки (сушіння, здрібнювання, розсів) при виробництві ЗІ не вимагає вживання особливих заходів по забезпеченню вибухобезпеки, тому що він не горить при звичайних умовах, для його підриву необхідний потужний ініціатор з іншої ВР, а схильність до ПГД дуже мала. Суміші ж ПХА з горючими порошками, як органічного, так і неорганічного походження, мають підвищений рівень вибухових властивостей, навіть при невеликому вмісті горючих добавок. Чистий ПХА з розміром часток 50 мкм не горить на відкритому повітрі, а горить тільки при тиску більше 3 МПа. Детонація в ньому може бути порушена при діаметрі заряду більше 30 мм за допомогою потужного проміжного детонатора. Для ПХА ПГД удалося здійснити тільки в трубі діаметром 60 мм, при цьому довжина переддетонаційної ділянки становила більше 1800 мм. У той же час суміш ПХА з 1,5% горючої добавки горить на відкритому повітрі, детонує в діаметрі менше 10 мм і дає стійкий ПГД у стандартних умовах при довжині переддетонаційної ділянки 600...700 мм. Організація переробки таких сумішей пов'язана із застосуванням спеціальних вибухозахищених апаратів і організацією спеціальної фази виробництва.

Зміна порядку введення компонентів правильний вибір порядку введення компонентів дозволяє істотно спростити технологічний процес і підвищити його вибухобезпеку.

Крім того, проміжні продукти або їхні суміші можуть мати значно більш високий ступінь вибухонебезпечності, чим кінцевий продукт. Наприклад, введення в змішувач одночасно всього навішення ПХА (або іншого окислювача, кристалічної ВР і т.п.) призводить до тимчасового утворення проміжних сумішей, що володіють підвищеною вибухонебезпечністю, за рахунок високого вмісту окислювача і зниженої щільності сумішей. Завантаження необхідної кількості компонента окремими порціями значно підвищує безпеку фази змішування паливної маси.

Таким чином, заходи щодо забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу і сусідніх виробничих

будинків повинні прийматися виходячи з найбільш вибухонебезпечного стану перероблюваної продукції.

Організація будь-якого технологічного процесу базується на застосуванні таких апаратів, конструкція і якість виготовлення яких відповідають вимогам безпеки. Використовувана у виробництві апаратура повинна відповідати наступним основним вимогам:

- тривалість наробітку на відмову (ресурс) апарата в цілому повинен перевищувати тривалість технологічного циклу технологічного процесу;

- рівень тривалості і імпульсних механічних впливів не повинен перевищувати критичних значень цих впливів, що викликають запалювання матеріалу, який переробляється;

- одноразове завантаження апарата, у якому є найбільша ймовірність виникнення вибухових процесів, повинна обмежуватися величиною, при якій забезпечується локалізація вражаючих факторів вибуху перероблюваних ВМ у приміщенні, де розміщене устаткування. При цьому повинні забезпечуватися безпечні відстані між будинками відповідно до галузевих правил;

- з метою зниження ефекту вибуху всі апарати, емності, транспортні трубопроводи повинні мати статичне і динамічне ослаблення, що забезпечує виконання граничних умов по відсутності переходу горіння у вибух (детонацію);

- фази виробництва і апарати, з'єднані безперервним технологічним потоком продуктів, повинні мати надійні розриви від місць концентрації ВР. Це може бути досягнуто як дискретністю виробництва, так і у вигляді аварійного розкриття і відсікання масопроводів.

Дотримання наведених вимог до конструкцій апаратів і умов їхнього використання є необхідною умовою забезпечення безпеки при виготовленні виробів. Однак виконання цих вимог у повному обсязі в ряді випадків натрапляє на труднощі, пов'язані з відсутністю вихідних даних про властивості перероблюваних ВМ, матеріалів для виготовлення апаратів, присутністю так званого «людського фактора» і т.п. Отже, у реальному виробництві не можна повністю виключити виникнення аварійної ситуації. Тому для захисту обслуговуючого персоналу і устаткування встановлюються певні правила по обладнанню виробництв ВМ і їхньої експлуатації, у яких технологічні процеси і операції класифікуються по можливих наслідках (вибухонебезпечні і пожеженебезпечні) і масштабом аварій.

Категорійність небезпечних технологічних процесів:

А – Процеси (операції), при проведенні яких можливий вибух руйнує будинок і створює для оточення небезпечну зону;

Ал – Процеси (операції), при проведенні яких можливий вибух локалізується в приміщенні (спорудженні) засобами захисту;

Б – Процеси (операції), при проведенні яких імовірність вибуху не перевищує  $10^{-4}$  на рік;

В – Процеси (операції), при проведенні яких можливе загоряння не локалізується усередині будинку (спорудження) і створює пожеженебезпечну зону;

Г – Процеси (операції), при проведенні яких можливе загоряння локалізується усередині будинку (спорудження).

Критерієм такої класифікації є максимальна проектна аварія і такий підхід дозволяє в широких межах змінювати номенклатуру матеріалів і виробів з них, якщо завантаження ВМ не перевищує проекту, а можлива аварія не підвищує категорію будинку.

Вражаючі фактори, характерні для аварії із ВМ: ударна хвиля, осколки, висока температура, сейсмічна дія – є наслідками тієї обставини, що процес енерговиділення при хімічних реакціях розкладання ВМ іде з великою швидкістю. Для кожного із цих факторів існує узагальнення їх експериментально визначених інтенсивностей, залежно від потужності і відстані до джерела, наявності захисних споруджень, перешкод, параметрів навколишнього середовища і т.п. У більшості випадків загальний вид залежності інтенсивності вражаючого фактора  $I$  від потужності джерела  $m$  і відстані до нього  $r$  виражається формулою 1:

$$I = f \left( \frac{km^b}{r^a} \right), \quad (1)$$

де коефіцієнт  $k$  і індекси  $a$ ,  $b$  змінюються в широких межах і залежать від виду вражаючого фактора, наявності і конструкції захисних пристроїв і споруджень і ряду інших особливостей конкретного промислового об'єкта. Їхні значення наведені у відповідних розділах «Правил устроювання підприємств...» [4].

Зупинимося тут докладніше тільки на одному понятті: тротиловому еквіваленті (ТЕ) вибуху ( $\alpha$ ). Відомо, що максимальна величина ТЕ ВМ може бути визначена експериментально по вимірах параметрів повітряної ударної хвилі (ПУХ) як відношення маси ТНТ до маси ВМ, еквівалентних по дії ПУХ, або, що іноді зручніше з достатньою для практики точністю, по співвідношенню значень теплоти вибухового перетворення конкретного ВМ і тротилу, формула 2:

$$\alpha = \frac{Q(v)_{\text{ВМ}}}{Q(v)_{\text{ТНТ}}}, \quad (2)$$

де загальноприйнято приймати  $Q(v)_{\text{ТНТ}} = 1000$  ккал/кг.

Однак, наведена залежність справедлива тільки при повному виділенні енергії, тобто при детонаційному процесі. Величина тротилового еквівалента ВМ у значній мірі впливає на розмір капіталовкладень у будівництво виробничих приміщень і їхнє розташування. Теплота вибухового розкладання сучасних ВМ досягає 1200–1700 ккал/кг, тобто величина ТЕ при детонаційному процесі буде становити (з урахуванням втрат) величину 1,2–1,7. При примусовому детонаційному процесі, як показують великомасштабні польові випробування натурних виробів, ТЕ може досягати значень 2,5–2,8.

Реальна ж величина ТЕ залежить не стільки від загального енергетичного рівня ВМ і ЗІ, скільки від

можливості і ступеня реалізуємості того або іншого вибухового процесу, що визначає кількість і швидкість виділення енергії стиснутих газів. Принципова можливість детонаційного процесу у ВМ ще не означає можливість його виникнення в реальних умовах переробки або експлуатації і тому не дає підстави використати максимально можливе значення ТЕ при визначенні вибухового ефекту. Наприклад, ВМ що містять у своєму складі кристалічні ВР, є детонаційноспроможними вибуховими системами. Однак було б неправильно вважати, що загоряння паливної маси в змішувальному апараті або загоряння твердого палива в ізложниці, розрив виробів при стендових випробуваннях, приведуть до детонації, і тому вибуховий ефект необхідно оцінювати виходячи з повного ТЕ. Інша справа, якщо технологічний потік продуктів має нерозривний зв'язок і у цьому потоці є хоча б один апарат, у якому може реалізуватися ПГД. Наприклад, якщо відбудеться загоряння порошкоподібної ВР у ємності або трубопроводі, що не відповідають вимогам відсутності ПГД, то в такому випадку ТЕ вибуху визначається за максимальним значенням, і ефект вибуху обчислюється із сумарного завантаження технологічного потоку. Так, у реальному виробництві чистий перхлорат амонію є в цьому змісті безпечною речовиною, не здатним давати ПГД. Тому його зберігання і переробка відносять до категорії «Г». Однак, якщо його зберігання і переробку здійснювати одночасно з октогеном, гексогеном або іншим ВМ, здатним давати ПГД у реальних умовах (операції категорії «А»), то категорійність у цьому випадку визначається з можливого результату аварії з найбільш вибухонебезпечним продуктом, і можливий ефект вибуху необхідно обчислювати із сумарного завантаження цих ВМ.

Організація сучасного виробництва ВМ спрямована на те, щоб виключити можливість таких явищ, і як показує практика, реалізація детонаційного процесу при аварійній ситуації - подія вкрай рідка. Тому практичний ТЕ для технологічних сумішей і готових виробів значно нижче, і ефект вибуху відбувається за рахунок згоряння значних кількостей ВМ у замкнутому обсязі. У цьому випадку «тротиловий еквівалент залежить від повноти перетворення ВМ у газ при безмежному адіабатичному розширенні», формула 3:

$$A = \frac{P_1 V}{n-1} \cdot \left( 1 - \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{(n-1)}{n}} \right), \quad (3)$$

де А – робота розширення, Дж;  $P_1$  – початковий тиск газів, МПа;  $P_2$  – атмосферний тиск, МПа; V – об'єм технологічного апарата,  $m^3$ ; n – показник адіабати продуктів горіння.

Можна розрахувати роботу вибуху при конкретних умовах загоряння, якщо об'єм апарата вимірюється в  $m^3$ , а тиск у ньому в момент розриву - у МПа, то для оцінки ТЕ вибуху при згорянні ВМ у замкнутому об'ємі застосовують наступну формулу 4:

$$C = \frac{0,239 P_1 V}{(n-1)} \cdot \left( 1 - \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{(n-1)}{n}} \right), \quad (4)$$

де С – еквівалент вибуху технологічного апарата, кг ТНТ.

На підставі результатів полігонних випробувань технологічного устаткування, а також оцінки параметрів полів ураження вибуховими ефектами, що виникають при ураженні натурних виробів кулями і осколками, була отримана формула, зручна для інженерних розрахунків ТЕ розриву оболонки при горінні ВМ (без ПГД) у замкнутому об'ємі, формула 5 [5]:

$$C = kPV, \quad (5)$$

де С – еквівалент вибуху, кг ТНТ; P – тиск розриву оболонки, МПа; V – об'єм,  $m^3$ ; k – емпіричний коефіцієнт, величина якого залежить від енергетичного рівня ВМ, стану поверхні горіння, швидкості наростання тиску при горінні ВМ або проміжних технологічних сумішей у замкнутому обсязі, ряду інших факторів; коливається в межах від 0,1 до 0,2.

Прийнято вважати, що найбільшу небезпеку представляє повітряна УХ, тому що в зоні своєї дії вона вражає в будь-якій точці. А зниження швидкості детонації ВМ, як правило, підвищує безпеку технологічного процесу.

Критерії ураження повітряною ударною хвилею при вибухах ВМ залежать від тиску у фронті ударної хвилі, кПа:

- повне розскління будинків і споруджень на максимальній відстані від центра вибуху 0,5-0,8 кПа;
- руйнування віконних проємів, дверей, легких перегородок 1-1,5 кПа;
- повне руйнування цегельної кладки, легких бетонних споруджень 2-2,5 кПа;
- контузія людини 30-70 кПа;
- летальний результат >300 кПа.

При повному руйнуванні будинку і устаткування з утворенням вирв на 1 кг ВМ в еквіваленті тротилу викидається 0,05-0,06  $m^3$  ґрунту.

Це пояснюється тим, що при аварійному вибуху енергія витрачається не тільки на викид ґрунту, але і на деформацію устаткування, будинків, фундаментів і т.і. Таким чином, застосовуючи вищенаведені формули, можливо, з одного боку, раціонально розмістити будинки і спорудження, здійснити достатній захист персоналу, з іншого боку, провести коректну оцінку потужності вибуху і його наслідків при аварії із ВМ.

Для локалізації та/або зменшення інтенсивності вражаючих факторів дуже часто устаткування, у якому може відбутися вибух, розміщують у спеціальних кабінах або будинках, здатних повністю або частково запобігти впливу вражаючих факторів на навколишні об'єкти. Будинку спеціальної конструкції дозволяють локалізувати вибухи, еквівалентні 2-3 т ТНТ, і залишитися при цьому ремонтпридатними.

Зниження інтенсивності вражаючих факторів і звуження зони їх дії може забезпечуватися застосуванням обвалування як активних, так і пасивних будинків.

Крім того, будинки і спорудження на території підприємства розміщуються на таких відстанях друг від друга і від навколишнє підприємство об'єктів, щоб рівні впливу на пасивні будинки усередині території підприємства не перевищували встановлених припустимих норм (внутрішні припустими відстані) і не могли заподіяти збитку за межами промайданчика (зовнішні безпечні відстані).

У тих же будинках, де запалювання переробляємих ВМ може закінчитися тільки пожежею, з метою зниження можливого збитку від аварійних вибухів застосовують легкоруйнуемі та легкоскидаємі конструкції (ЛСК). До числа конструкцій, що руйнуються легко, відносять стекла віконних проемів, руйнування яких забезпечує практично миттєве розкриття приміщення при мінімальному збитку. До конструкцій, що скидаються легко, відносять поворотні засклені проєми, стінові панелі і плити перекриттів, руйнування яких відбувається протягом деякого проміжку часу. У процесі спрацьовування ЛСК і вихід продуктів згоряння із приміщення відбувається зниження навантажень на устаткування, що приводить до значного зменшення збитку.

Практично всі будинки, у яких проводять роботи із ВМ, обладнуються системами автоматичного пожежезахисту - комплексом пристроїв, що виявляють загоряння і включають автоматичну подачу вогнегасячої речовини (як правило, води). Для виявлення загорянь застосовуються датчики, що забезпечують надійне виявлення осередків загоряння і не дають помилкових спрацьовувань. Найчастіше це фотодатчики, що реагують на спектр випромінювання палаючої продукції. Системи подачі води мають різний час спрацьовування - від 0,1 до 10-30 с і обладнуються розпилювальними насадками різної конструкції, вибір яких визначається завданнями, що ставляться перед конкретними системами пожежезахисту. Ефективність систем пожежезахисту при виробництві пожежебезпечних речовин (порохів, палив) може бути досягнута за умови подачі вогнегасячого засобу в зону горіння при тиску 0,6-0,8 МПа не пізніше 2-3 с із моменту спрацьовування датчиків виявлення горіння, з інтенсивністю зрошення 4-6 л/с на 1 м<sup>2</sup> протягом не менш 10 с.

**ВИСНОВКИ.** Показано, що оцінка безпеки технологічного процесу ґрунтується на порівнянні рівня вибухових властивостей матеріалу, що переробляється, тобто визначенні умов досягнення критичних параметрів впливів, що приводять до початкового осередку загоряння і розвитку вибухових процесів, з одного боку, і рівнем впливів на ВМ і ЗІ вироблених у процесі його переробки, з іншого боку; розглянуто категоричність небезпечних технологічних процесів, доведено що критерії ураження повіт-

ряною ударною хвилею при вибухах ВМ залежать від тиску у фронті ударної хвилі; доведено, що зниження швидкості детонації ВМ, як правило, підвищує безпеку технологічного процесу. Використання для проведення відкритих вибухових робіт сучасних емульсійних вибухових речовин місцевого приготування нівелює більшість ризиків, пов'язаних з виробництвом та транспортуванням ВР.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Закусило Р.В., Кравець В.Г., Коробійчук В.В. Засоби ініціювання промислових зарядів вибухових речовин: монографія. Житомир : ЖДТУ, 2011. 212 с.
2. Закусило Р.В. Определение рисков при транспортировке и зарядке эмульсионных взрывчатых веществ местного приготовления в соответствии со стандартами Евросоюза. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2017. Вип. 6/2017 (107). С. 105–109.
3. Закусило Р.В., Желтоножка А.А. Сравнительные исследования опасности производства и применения детонирующего волновода к НСИ и детонирующего шнура ДШЭ-12. *Вісник Національного технічного університету України «КПІ». Серія “Гірництво”*. 2004. Вип. 10. С. 42–50.
4. Левішко К.В., Квітковський Ю.В. Методика розрахунку рівнів виробничих ризиків на прикладі професії «гірник очисного забою». *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил*. 2015. Вип. 2 (43). С. 123–128.
5. Орлова Е.Ю. Химия и технология бризантных взрывчатых веществ. М.: Рипол Классик, 2013. 398 с.
6. Khomeriki Davit, Khomeriki Sergo, Mikhelson Rudolf, Chikhradze Nikoloz, Khvadagiani Avtandil. Production of Industrial Explosive Substances on the Basis of the Powders and Solid Rocket Fuel Released from the Utilization of the Expired Ammunition. New York : *Procedia Earth and Planetary Science*, Vol. 15, 2015. pp. 738–741.
7. Генералов М.Б. Основные процессы и аппараты технологии промышленных взрывчатых веществ. М.: Академкнига, 2004. 397 с.
8. Соснин В.А., Межерицкий С.Э. Состояние и перспективы развития промышленных взрывчатых веществ в России и за рубежом. *Вестник Казанского технологического университета*. 2016. Том 19, № 19. С. 84–90.
9. Matsuo Nobuyuki, Otuka M., Hamasima H., Itoh S. Research on Initiation Sensitivity of Solid Explosive and Planer Initiation System. United Kingdom : *The International Journal of Multiphysics*. Volume 5, Number 2, 2011. pp. 131–143.
10. Закусило Р.В. Технологічні основи побудови безпечних процесів виробництва вибухових матеріалів. *Збірник наукових праць XIV наукової конференції «Львівські хімічні читання - 2013»*. 2013. С. 48.

## FUNDAMENTALS OF CONSTRUCTION OF EXPLOSIVE MATERIAL EXPLOSION-PROOF PRODUCTION TECHNOLOGY

**R. Zakusylo**

Shostka Institute of Sumy State University

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

**Purpose.** To establish hazard criteria in the production of explosive materials, to identify directions and ways to improve labour safety in the manufacture of explosives and their initiating means, as well as perspective types of explosive materials that can improve labour safety during their production. **Methodology.** The method of mathematical analysis, based on the theory of probability, was applied in the work as well as the method of criterial equations. **Results.** The problems associated with the assessment of the safety of technological process for the production of explosive materials are considered. It is shown that the safety assessment of the technological process is based on a comparison of the level of explosive properties of the processed material, that is, the determination of the conditions for achieving the critical parameters of the impacts leading to the initial foci of ignition and the development of explosive processes, and at the same time the level of exposure to explosive materials and initiating means produced in process of its processing. It is investigated that during an emergency explosion energy is expended not only on the ejection of soil, but also on the deformation of equipment, buildings, foundations, etc. Thus, applying the formulas given in the article, it is possible, on the one hand, to place buildings and structures rationally, to provide sufficient personnel protection, and on the other hand, to make a correct assessment of the explosion power and its consequences in the event of an accident with the explosives. **Originality.** The category of dangerous technological processes is considered, and it is proved that the criteria of destruction by an air shock wave in explosions of explosive materials depends on the pressure in the front of the shock wave. It is substantiated that the decrease in the intensity of the damaging factors and the narrowing of their zone of action can be ensured by using both active and passive buildings. It has been proved that a decrease in the detonation velocity of explosive materials, as a rule, increases the safety of the technological process. **Practical value.** The requirements for the planning of explosives production have been given. **Conclusions.** Conclusions are drawn regarding the prospects of using low-speed emulsion explosives of local preparation. References 10, formulas 5.

**Key words:** explosion, explosive, shock wave, production technology, safety.

### REFERENCES

- Zakusylo, R.V., Kravets, V.G., Korobijchuk, V.V. (2011), *Zasoby initsiiuvannia promyslovykh zariadiv vybukhovoykh rehovyn: monohrafiia* [Means of initiating industrial explosives charges], Zhytomyr, Ukraine: ZhDTU, 212 p.
- Zakusylo, R.V. (2017), "Determination of risks in transportation and charging of emulsion explosive of local preparation in accordance with EU standards", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University*, Vol. 6/2017 (107), pp. 105–109.
- Zakusylo, R.V., Zheltonozhko, A.A. (2004), "Comparative studies of the danger of production and application of a detonating waveguide to the NSI and detonating cord DCE-12", *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu Ukrainy "KPI". Seriya "Hirnystvo"*. Vol. 10, pp. 42–50.
- Levishko, K.V., Kvitkovskiy, Yu.V. (2015), "Method of calculating the levels of production of production risks in case the profession "miner working face"", *Zbirnyk naukovykh prats' Kharkivs'koho universytetu Povitrianykh Syl*, Vol. 2 (43). pp. 123–128.
- Orlova, E.Yu. (2013), *Khimia i tekhnolohia brizantnykh vzryvchatykh veschestv* [Chemistry and technology of high explosives], Moscow, Russia: Ripol Klassik, 398 p.
- Khomeriki, D., Khomeriki, S., Mikhelson R., Chikhradze, N., Khvadagiani, A. (2015), Production of Industrial Explosive Substances on the Basis of the Powders and Solid Rocket Fuel Released from the Utilization of the Expired Ammunition. USA, New York: *Procedia Earth and Planetary Science*, Vol. 15, pp. 738–741.
- Generalov, M.B. (2004), *Osnovnye protsessy i apparaty tekhnologii promyshlennykh vzryvchatykh veshchestv* [The main processes and apparatuses of industrial explosives technology], Moscow, Russia: Akademkniga, 397 p.
- Sosnin, V.A., Mezheritskiy, S.E. (2016), "State and prospects for the development of industrial explosives in Russia and abroad", *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, Vol. 19, p. 84–90.
- Matsuo, N., Otuka, M., Hamasima, H., Itoh, S. (2011), "Research on Initiation Sensitivity of Solid Explosive and Planer Initiation System", *United Kingdom : The International Journal of Multiphysics*, Vol 5, Number 2. pp. 131–143.
- Zakusylo, R.V. (2013), Tekhnolohichni osnovy pobudovy bezpechnykh protsesiv vyrobnytstva vybukhovoykh materialiv [Technological bases of construction of safe processes of production of explosive materials], *Proceedings of XIV Scientific Conference «L'vivs'ki khimichni chytannia – 2013»*, p. 48.

Стаття надійшла 23.04.2018.