

*О. М. Смирнов, ст. викл. каф. (ORCID 0000-0002-1237-8700)*  
*І. О. Толкунов, к.т.н., доцент, нач. каф. (ORCID 0000-0001-5129-3120)*  
*Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна*

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УТИЛІЗАЦІЇ ПРОТИПІХОТНИХ ОСКОЛКОВИХ МІН ОЗМ-72

Розроблено технологію розрядження та утилізації протипіхотних осколкових мін кругової поразки ОЗМ-72 шляхом розбирання на складові елементи, яка дозволяє раціонально вилучати з них всі наявні матеріали та надає змогу отримати і передати на підприємства металобрухт та інші речовини, що мають бути використаними в національній економіці. Для цього проаналізовано міжнародну і національну нормативно-правову базу в галузі зниження запасів надлишкових боєприпасів, боєприпасів, непридатних для подальшого використання і зберігання та таких, що підлягають знищенню та зберігаються на складах, базах та арсеналах МО України, а також науково-практичні дослідження, які здійснюються провідними вченими в нашій державі та поза її межами, що дозволило обґрунтувати доцільність і порядок проведення утилізації обраних для проведення дослідження мін ОЗМ-72. Для підвищення ефективності робіт з утилізації вищезазначених боєприпасів розроблено методику оптимального розподілу особового складу по робочих місцях з урахуванням ризику виникнення аварії, яка представляє собою математичну послідовність дій, що може бути застосована до тих чи інших конкретних умов з урахуванням певного об'ємно-планувального рішення цеху (цехів) для виконання вищезазначених операцій з утилізації протипіхотних осколкових мін ОЗМ-72. Результати апробації запропонованої методики дозволили визначити ряд аналітичних залежностей, що підтверджують взаємозв'язок між інтенсивністю надходження мін ОЗМ-72 на розрядження і утилізацію та інтенсивністю проведення робіт на кожному робочому місці, з урахуванням наявного людського ресурсу, що в свою чергу має суттєвий вплив на час, а отже і коефіцієнт, простою мін та персоналу на робочих місцях у разі незбалансованого надходження мін на технологічну лінію або нераціонального розподілу персоналу по робочих місцях. Такий підхід може бути реалізований відповідними органами ДСНС в процесі проведення експертизи утилізації боєприпасів і вибухових речовин під час здійснення заходів контролю, погодження нормативних та інших документів з питань утилізації.

**Ключові слова:** утилізація, боєприпас, вибухонебезпечний предмет, протипіхотна осколкова міна кругової поразки ОЗМ-72, складальник боєприпасів

### 1. Вступ

Безпека людини і довкілля, їх захищеність від техногенних і соціально-політичних небезпек віднесена до проблем особливої важливості держави і суспільства, а їх рішення – до пріоритетних завдань національної безпеки. Техногенна і соціально-політична небезпека походить, насамперед, від промислових і військових об'єктів, які створюють потенційну небезпеку та на яких можливий розвиток пожежних, вибухових, а також радіаційних, хімічних та інших небезпек. До таких об'єктів, насамперед, відносяться пожежовибухонебезпечні об'єкти як промислового (вибухопожежо-небезпечні установки і приміщення), так і військового комплексу (склади, бази та арсенали зберігання різноманітних боєприпасів), несанкціоновані вибухи на яких в останні роки стали достатньо систематичним явищем.

За даними Міністерства оборони (МО) в Україні налічується 184 одиниці складів і арсеналів, на яких зберігається 2,4 млн. тонн БП, з яких біля 1,5 млн. тонн віднесені до розряду надлишкових, тобто тих, що потребують утилізації. З них 340 тис. тонн вимагають термінової утилізації. Щорічно цей арсенал збільшується на 10-15 тис. тонн. Термінової утилізації потребують і 24 тис. тонн

ракет різних типів, які у разі підриву можуть летіти на десятки кілометрів. Така ситуація склалася у зв'язку з тим, що на початку 90-х років до цих арсеналів було перевезено близько 9 тисяч умовних вагонів боєприпасів та ракет з груп військ СРСР, були перевезені і боєприпаси та ракети з тих військових частин, що розформувались протягом 1992-2012 р.

Отже, загальновідомою для нашого суспільства є соціальна та науково-технічна проблема, пов'язана із тим, що боєприпаси з вичерпаним гарантійним терміном зберігання уявляють постійну загрозу несанкціонованих вибухів і пожеж, що може призводити та вже неодноразово призводило до виникнення надзвичайних ситуацій з катастрофічними наслідками, пов'язаними із загибеллю людей і непоправними збитками оточуючому середовищу. Виходячи з цього, актуальною проблемою є розробка нових методів, способів та технічних засобів для зниження надлишкових запасів застарілих боєприпасів на складах, базах та арсеналах Міністерства оборони України.

## **2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми**

З огляду на особливості вищезазначеної проблематики, слід визначити необхідність проведення поглибленого аналізу як міжнародної і національної нормативно-правової бази в цій галузі, так і тих науково-практичних досліджень, що здійснюються провідними вченими в нашій державі та в інших державах, що стикалися або до цих пір стикаються з нагальною необхідністю утилізації надлишкових та застарілих запасів різноманітних боєприпасів в цих країнах.

Як зазначено в Законі України «Про протимінну діяльність в Україні», одною із основних складових цієї діяльності є «...утилізація надлишкових боєприпасів, боєприпасів, непридатних для подальшого використання та зберігання, а також боєприпасів, що підлягають знищенню відповідно до міжнародних зобов'язань України...», зокрема зазначених у Конвенції про заборону застосування, накопичення запасів, виробництва і передачі протипіхотних мін та про їхнє знищення, Конвенції про заборону або обмеження застосування конкретних видів звичайної зброї, які можуть вважатися такими, що завдають надмірних ушкоджень або мають невивіркову дію та інших міжнародних та національних нормативно-правових актах. Це в свою чергу визначає пріоритетність захисту прав, законних інтересів, життя і здоров'я населення, довкілля, ресурсів держави та забезпечення національної безпеки при здійсненні заходів у сфері протимінної діяльності, що призведе до зниження соціальної напруженості серед населення, яке проживає на територіях або поблизу територій, забруднених вибухонебезпечними предметами.

Утилізація боєприпасів здійснюється з урахуванням положень Державної цільової оборонної програми утилізації звичайних видів боєприпасів, непридатних для подальшого використання і зберігання, на 2008-2017 роки, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 22.10.2008 р. №940, зі змінами 29.06.2011 р. №698. Однак реалії сьогодення доводять, що заплановані терміни утилізації надлишкових та застарілих запасів різноманітних за видами боєприпасів на арсеналах, базах та складах їх зберігання не витримуються, більше того – з кожним роком їх кількість тільки зростає. Практика показала, що максимальна економічна ефективність програм утилізації боєприпасів може бути досягнута тільки при глибшій переробці матеріалів і сировини, одержаних при утилізації, в народногосподарську продукцію і реалізації цих матеріалів і

продукції на комерційній основі, у тому числі і за кордоном. Це робить надзвичайно актуальним питання науково-технічного обґрунтування, розробки та впровадження безпечних технологій утилізації таких боєприпасів, а при належному підході ці технології можуть стати прибутковими, в тому числі і за рахунок недопущених людських та матеріальних втрат.

В повній мірі це стосується і протипіхотної осколкової міни кругової поразки ОЗМ-72. За даними, наданими міжнародній спільноті у 2009 році, що містяться в [1], до початку проведення на сході нашої держави Антитерористичної операції (АТО) в 2014 році на складах, базах та арсеналах зберігання боєприпасів МО України знаходилось понад 292 тис. таких мін. Причому всі вони без винятку були виготовлені на промислових потужностях за часів СРСР, тому є непридатними до використання і зберігання, оскільки досить давно вичерпали гарантійні терміни експлуатації, підлягають списанню та утилізації. Також це підтверджується досвідом використання таких мін в ході АТО, а в подальшому і Операції об'єднаних сил (ООС), оскільки певна кількість мін ОЗМ-72 потрапила на оснащення в підрозділи Збройних Сил України і достатньо великий їх відсоток не спрацьовував при штатному використанні за різними технічними причинами.

На теперішній час одним із основних методів знищення боєприпасів, перш за все в аварійних ситуаціях, є їх підривання, спалювання або затоплення, які можуть бути рекомендованими для таких боєприпасів, що не підлягають демонтажу зважаючи на небезпеку. Використання даних методів достатньо безпечно при дотриманні нескладних правил поведінки з вибуховими речовинами (ВР) та засобами підриву (ЗП). В той же час підриви на відкритій місцевості можуть створити потужне навантаження на навколишнє середовище, призвести до забруднення повітряного басейну, води, загибелі лісових масивів, не кажучи вже про безповоротні втрати цінних та дефіцитних матеріалів.

В Україні та за межами нашої держави рядом авторів здійснюються науково-прикладні дослідження, що стосуються розробки нових та удосконалення існуючих методів та способів утилізації застарілих та надлишкових боєприпасів різних типів. Однак слід зауважити, що ці дослідження носять безсистемний та вузько направлений характер, що вирішують окремі науково-технічні задачі та носять, як правило, рекомендаційний характер.

Авторський колектив, дослідження якого представлені в [2], розглядає в своїй роботі метод розснарядження застарілих боєприпасів, суть якого полягає у використанні струменів різних рідин, що дає різну ефективність процесу різання металевих корпусів, а також дозволяє частково або повністю вимивати з корпусів ВР. В той же час запропонований рідинний спосіб має як безумовні переваги, так і певні проблемні аспекти, що полягають у частковій втраті ВР при розмиванні, а також досить високу імовірність забруднення оточуючого середовища при недостатній технічній досконалості системи очищення стічних вод. Удосконалення ж цієї системи до прийняттого рівня може призвести до втрати рентабельності всього процесу утилізації боєприпасів запропонованим методом.

Дослідження, представлені в [3], пропонують для використання ряд гідродинамічних способів розснарядження та утилізації боєприпасів. Запропоновані способи достатньо успішно вирішують визначені завдання, однак, в той же час мають певні критичні недоліки, що присутні і в попередній роботі, пов'язані із надмірним механічним навантаженням на ВР при гідродинамічному різанні або руйнуванні корпусів боєприпасів, що при впливі на ВР підвищеної

чутливості (гексоген, тен, октоген) може призвести до їх детонації та несанкціонованого підриву боєприпасу.

В [4] запропоновано технологічно і екологічно безпечний спосіб утилізації вибухових речовин і боєприпасів мікробіологічними способом з отриманням органічних добрив і металевих порошків субмікронного розміру, а також підтверджено ефективність використання мікроорганізмів, для утилізації вибухових речовин і боєприпасів. На ряду із перспективністю розглянутого способу утилізації вибухових речовин і боєприпасів виникають певні складнощі в організації самого процесу з точки зору забезпечення оптимальних умов життєдіяльності використовуваних мікроорганізмів, а також жорсткого контролю за популяцією цього типу мікроорганізмів.

Матеріали, напрацьовані авторами в [5], пропонують до розгляду наступні методи розрядження боєприпасів і вилучення із них ВР: контактне та безконтактне термічне вилучення ВР з боєприпасів; високотемпературна обробка боєприпасів, їх елементів та ВР, що дає змогу виплавляти легкоплавкі і відносно інертні вибухові речовини (наприклад, тротил). В подальшому отримані ВР пропонується використовувати для виготовлення промислових вибухових речовин. Сам по собі термічний вплив на корпуси боєприпасів та ВР, що в них розташовані – це роботи підвищеним рівнем небезпеки, принаймні у порівнянні із вищерозглянутими методами, що може призвести до несанкціонованих випадків детонації або дефлаграції ВР, що виплавляються. Також є суттєві обмеження по номенклатурі боєприпасів, що можна утилізувати такими методами, оскільки працювати дозволяється тільки з інертними до зовнішнього впливу ВР, які мають понижено чутливість.

В якості основного та найбільш небезпечного методу утилізації застарілих боєприпасів більшістю авторів розглядаються технології розбирання таких боєприпасів на складові елементи [6], однак як правило це стосується окремих видів боєприпасів з огляду на величезне розмаїття їх видів та конструкцій, що також підтверджує актуальність питань наукового обґрунтування при розробці високоефективних та безпечних технологій утилізації боєприпасів шляхом їх розбирання.

Розробка технологій розрядження боєприпасів шляхом їх розбирання, на відміну від аналогічних досліджень в інших областях, має певну специфіку, що розглянуто в різних технічних настановах [7–9], яку слід обов'язково враховувати при проведенні робіт.

В даний час практично немає універсального методу розрядження боєприпасів. Це пов'язано з дуже великою різноманітністю конструкцій боєприпасів. Крім того, утилізація боєприпасів є роботою з підвищеною небезпекою та вимагає наявності висококваліфікованих фахівців, оригінального технологічного устаткування, виробничих і складських приміщень, що відповідають умовам вибухопожежобезпечності [10].

Таким чином, невирішеною частиною проблеми є підвищення ефективності робіт з розрядження та утилізації застарілих боєприпасів в умовах існуючих промислових потужностей баз та арсеналів зберігання боєприпасів МО України.

### 3. Мета та завдання дослідження

Зважаючи на вищезазначене, метою дослідження є обґрунтування доцільності і порядку проведення утилізації протипіхотних осколкових мін кругової поразки ОЗМ-72.

Для досягнення вищезазначеної мети потребують вирішення наступні завдання:

1. Розробити технологічний процес розряджання протипіхотних осколкових мін ОЗМ-72 та рекомендації щодо його реалізації в умовах існуючих промислових потужностей баз та арсеналів зберігання боєприпасів Міністерства оборони України.

2. Розробити методику оптимального розподілу персоналу та технічних засобів по робочих місцях в ході реалізації запропонованого технологічного процесу розряджання протипіхотних осколкових мін ОЗМ-72 з урахуванням ризику виникнення аварії.

#### 4. Розробка технологічного процесу розряджання протипіхотних осколкових мін ОЗМ-72

В роботі запропоновано технологію розряджання протипіхотних осколкових мін, що вистрибують, кругової поразки ОЗМ-72 шляхом їх розбирання на елементи, яка визначає порядок організації і проведення робіт з розбирання протипіхотних мін ОЗМ-72 на ділянці, обладнаній у виробничому приміщенні цеху.

Технологія передбачає розбирання протипіхотних мін ОЗМ-72 в наступних станах: морально застарілих і знятих з озброєння; непридатних для бойового застосування через неможливість чи недоцільності їхнього ремонту, призначених до розбирання відповідно до переліків заборонених боєприпасів чи затверджених актом технічного стану.

Вихідними даними для здійснення техніко-економічних розрахунків та розробки кошторисної документації є конструкція (рис. 1), порядок зберігання та основні тактико-технічні характеристики протипіхотної осколкової міни ОЗМ-72.

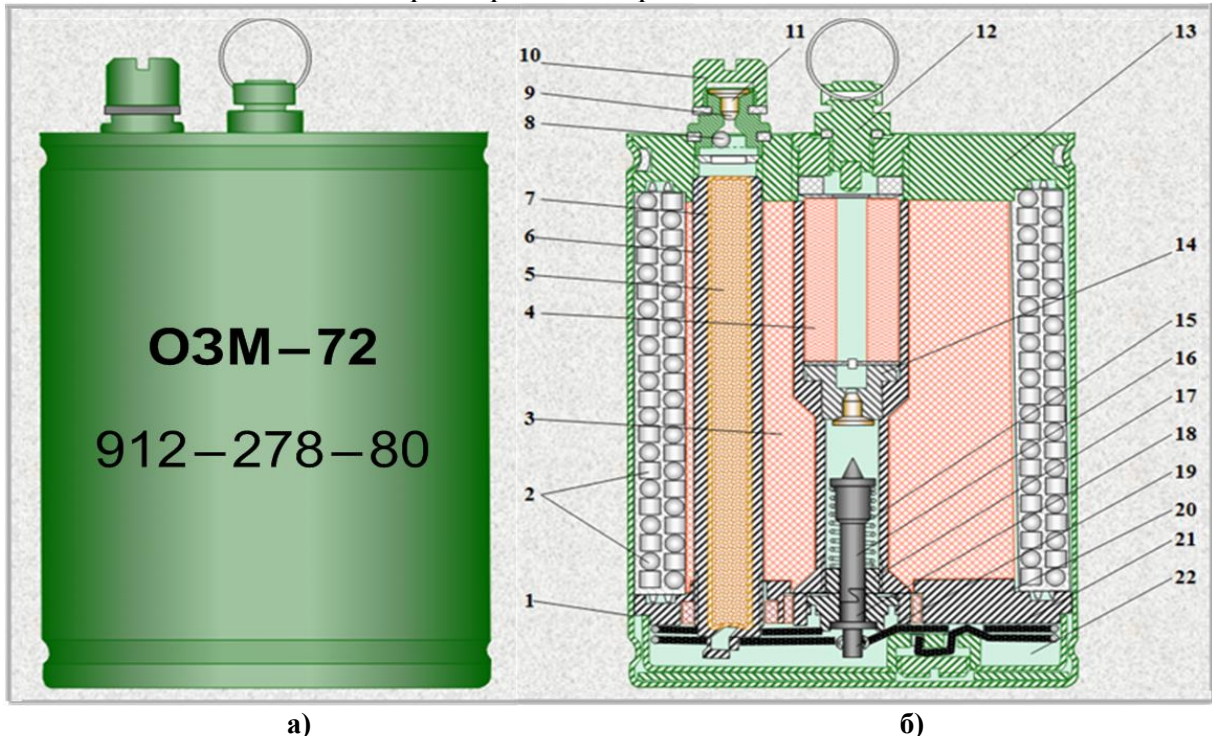


Рис. 1. Будова протипіхотної осколкової міни, що вистрибує, кругової поразки ОЗМ-72: а) загальний вигляд міни; б) конструкція міни; 1 – направляючий стакан; 2 – осколки; 3 – заряд ВР; 4 – додатковий детонатор; 5 – вишибний заряд; 6 – центральна втулка; 7 – трубка; 8 – кулька; 9 – ніпель; 10 – ковпачок; 11 – капсуль-запалювач; 12 – пробка зі скобою; 13 – верхня кришка; 14 – втулка з капсулем-запалювачем; 15 – пружина; 16 – ударник; 17 – втулка; 18 – п'ятка ударника; 19 – запобіжний ковпачок; 20 – нижня кришка; 21 – натяжний трос; 22 – камера

Розроблена в ході проведення досліджень технологія розрядження протипіхотних осколкових мін, що вистрибують, кругової поразки ОЗМ-72 шляхом розбирання їх на складові елементи, що реалізована у технологічному процесі, дозволяє раціонально вилучати з даного типу мін всі наявні матеріали та надає змогу отримати і передати на підприємства металобрухт та інші речовини, що мають бути використаними в національній економіці.

Технологічний процес передбачає послідовне виконання операцій, зображених на рис. 2, що складається з підготовчих операції (операції 1–4), основних операцій (операції 5–11), які є операціями з підвищеною небезпекою, та завершальних операцій (операції 12–15).

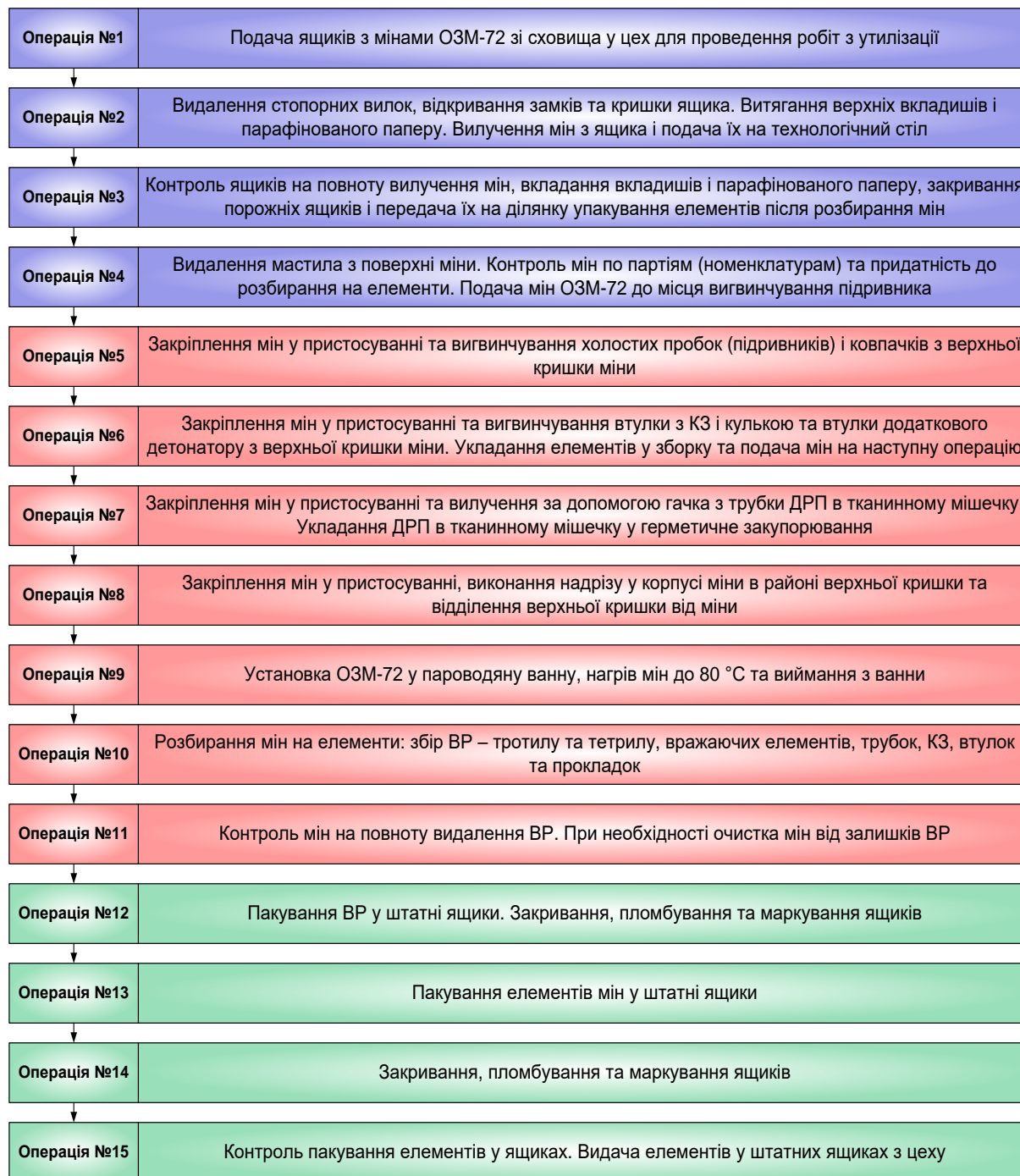


Рис. 2. Технологічний процес розрядження протипіхотних осколкових мін, що вистрибують, кругової поразки ОЗМ-72



За результатами реалізації вищенаведеного технологічного процесу розбирання протипіхотних осколкових мін, що вистрибують, кругової поразки ОЗМ-72, проведення техніко-економічних розрахунків та розроблення кошторисної документації доведено доцільність виконання цих робіт та визначено показники, які показують наступні обсяги матеріалів вторинної сировини (із розрахунку на 10000 шт. протипіхотних мін ОЗМ-72, що розбираються), які можуть бути переданими в народне господарство для повторного використання:

– корпуси і ролики сталеві (Ст. 8–10)	– 40 т (вид 500);
– ВР Тротил	– 6,6 т;
– ВР Тетрил	– 0,23 т;
– ДРП-1	– 0,070 т.
– МУВ-4	– 10000 од.
– КД №8	– 10000 од.
– КВ-11	– 20000 од.

Після реалізації, отримаємо наступний орієнтований прибуток:

- для брухту чорних металів виду 500 –  $40 \times (12800 - 13200 \text{ грн./т}) = 512000 - 528000 \text{ грн.};$
- ДРП-1 –  $0,07 \times (35000 - 60000 \text{ грн./т}) = 2450 - 4200 \text{ грн.};$
- ВР –  $6,83 \times (1000 - 1500 \text{ грн./т}) = 6830 - 10240 \text{ грн.}$
- Разом: 521280-542440 грн. (за цінами 2019 року)

## 5. Розробка методики оптимального розподілу персоналу по робочих місцях

Таким чином, утилізація мін ОЗМ-72 шляхом розбирання на елементи уявляє собою процес послідовного виконання операцій №1–15, що передбачені розробленим технологічним процесом. До числа відповідальних операцій відносяться: контроль мін ОЗМ-72 на допустимість до розрядження; вилучення КД №8, КВ-11, МУВ-4 та ДРП-1, пакування ВР, КД №8, КВ-11, МУВ-4 та ДРП-1. Ефективність і безпека даного процесу буде залежати від розподілу особового складу (складальників боєприпасів) та засобів по робочим місцям таким чином, щоб забезпечити проведення технологічних операцій на робочих місцях у випадкові періоди часу і, водночас, не допускати перевантаження окремих ділянок вибухонебезпечними предметами, що збільшує ризик виникнення аварії.

З огляду на вищезазначене, виникає задача оптимального розподілу особового складу та засобів по робочим місцям. Така задача може бути вирішена з використанням методів дослідження операцій [11]. Розв'язок задачі наведено в загальному вигляді і представляє собою математичну послідовність дій, що може бути застосована до тих чи інших конкретних умов з урахуванням певного об'ємно-планувального рішення цеху (цехів) для виконання вищезазначених операцій. Процес утилізації можна представити у вигляді системи масового обслуговування. Для математичного аналізу проведемо формалізацію задачі.

Нехай є множина мін ОЗМ-72  $D = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$ , які потребують утилізації. Є перелік робіт (операцій)  $O = \{o_1, o_2, \dots, o_n\}$ , які необхідно виконати для утилізації. Задані технології виконання робіт, які визначають порядок проходження мін ОЗМ-72 по робочим місцям під час утилізації  $L = \{o_1 - o_2 - \dots - o_n\}$ . Введемо наступні позначення:  $t_j$  – час виконання роботи (операцій)  $o_j$ .

Утилізацію мін ОЗМ-72 можна представити як комплекс послідовних систем масового обслуговування, в яких міни ОЗМ-72 поступають на чергове робоче місце тільки після того, як будуть виконані всі роботи на попередньому робочому місці. Даний процес схематично представлений на рис. 3.

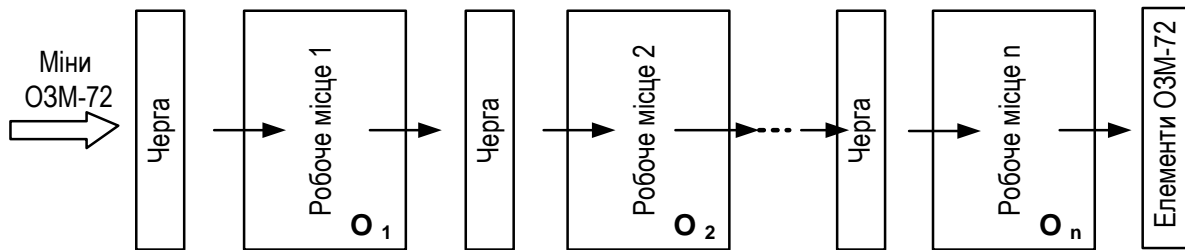


Рис. 3. Схема формалізованого процесу утилізації ОЗМ-72

На кожному робочому місці кожний номер обслуги (складальник боєприпасів) може одночасно обслуговувати лише один елемент мін ОЗМ-72. Якщо у момент потрапляння чергового комплекту є вільний працівник, то він одразу приступає до роботи, якщо всі зайняті, то елемент мін ОЗМ-72 чекає, поки хтось звільниться. Отже, якщо число елементів мін ОЗМ-72, які потребують утилізації на кожному робочому місці, перевищить кількість працівників, то утвориться скупчення елементів мін ОЗМ-72 – «черга».

Потік мін ОЗМ-72, які необхідно утилізувати обмежений, тобто одночасно у системі обслуговування не може знаходитися більше  $m$  мін, де  $m$  – кінцеве число. У якості критерію, який характеризує ефективність процесу утилізації мін ОЗМ-72 можна обрати відношення середньої довжини черги до  $m$  – найбільшої кількості мін ОЗМ-72, що знаходяться одночасно на етапі підготовки. Це відношення є коефіцієнтом простою мін ОЗМ-72, що утилізуються. У якості другого критерію візьмемо відношення середнього числа незайнятих працівників до їх загальної кількості. Назвемо це відношення коефіцієнтом простою працівників. Перший критерій характеризує втрати часу за рахунок очікування початку обслуговування, другий – показує повноту завантаження обслуговуючої системи.

Оскільки у системі обслуговування одночасно не може знаходитися більше  $m$  мін ОЗМ-72, то внаслідок цього певна міна може знаходитись у момент часу  $t$  не більше ніж у  $(m + 1)$  різних станах. Ці стани будуть визначатись числом вимог, що знаходяться на обслуговуванні та очікують у черзі. Очевидно, що черга може виникнути лише за умови, що число працівників  $n < m$ .

Імовірність того, що зайнято  $k$  працівників (складальників боєприпасів) буде визначатись за формулою:

$$P_k = \frac{m!}{k!(m-k)!} \left(\frac{\lambda}{\nu}\right)^k P_0, \quad (1 \leq k \leq n), \quad (1)$$

де  $\lambda$  – частота надходження мін ОЗМ-72 на утилізацію;  $\frac{1}{\nu}$  – середній час утилізації однієї міни ОЗМ-72;  $m$  – найбільше можливе число мін ОЗМ-72, які знаходяться на утилізації одночасно.



Імовірність того, що у системі знаходиться  $k$  мін ОЗМ-72, для випадку, коли їх кількість більша кількості працівників, буде визначатись за формулою:

$$P_k = \frac{m!}{n^{k-n} n! (m-k)!} \left(\frac{\lambda}{v}\right)^k P_0, \quad (n \leq k \leq m), \quad (2)$$

де  $n$  – кількість працівників.

Імовірність того, що усі обслуговуючі апарати вільні буде визначатись по наступній залежності:

$$P_0 = \left[ \sum_{k=0}^n \frac{m!}{k! (m-k)!} \left(\frac{\lambda}{v}\right)^k + \sum_{k=n+1}^m \frac{m!}{n^{k-n} n! (m-k)!} \left(\frac{\lambda}{v}\right)^k \right]^{-1}. \quad (3)$$

Основні показники критеріїв, що характеризують ефективність процесу утилізації будуть визначатись за наступними рівняннями.

Середня кількість мін ОЗМ-72, які знаходяться у обслуговуючій системі:

$$M_1 = \sum_{k=n+1}^m \frac{(k-n) \cdot m!}{n^{k-n} n! (m-k)!} \left(\frac{\lambda}{v}\right)^k P_0. \quad (4)$$

Коефіцієнт простою мін ОЗМ-72, що утилізуються:

$$R_{\text{мін}} = \frac{M_1}{m} = \frac{(m-1)!}{n!} \sum_{k=n+1}^m \frac{k-n}{n^{k-n} n! (m-k)!} \left(\frac{\lambda}{v}\right)^k P_0. \quad (5)$$

Середня кількість мін ОЗМ-72, що знаходяться на етапі підготовки:

$$M_2 = \left[ \sum_{k=1}^n \frac{m!}{(k-1)! (m-k)!} \left(\frac{\lambda}{v}\right)^k + \sum_{k=n+1}^m \frac{k \cdot m!}{n^{k-n} n! (m-k)!} \left(\frac{\lambda}{v}\right)^k \right] P_0. \quad (6)$$

Середня кількість працівників, що обслуговують міни ОЗМ-72:

$$M_3 = \sum_{k=1}^n (n-k) P_k + \sum_{k=n+1}^m \frac{(n-k) \cdot m!}{k! (m-k)!} \left(\frac{\lambda}{v}\right)^k P_0. \quad (7)$$

Коефіцієнт простою працівників, що обслуговують міни ОЗМ-72:

$$R_{\text{пр.}} = \frac{M_3}{n} = \sum_{k=0}^{n-1} P_k = 1 - \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} k P_k. \quad (8)$$

Очевидно, що для зменшення часу перебування мін ОЗМ-72 в черзі на обслуговування необхідно, щоб інтенсивність проведення робіт  $v_j = \frac{1}{t_j}$  на кожному робочому місці дорівнювала інтенсивності надходження мін ОЗМ-72 на обслуговування  $\lambda$ :

$$\lambda = \frac{N}{T_{\text{заг.}} - T_1}, \quad (9)$$

де  $N$  – загальна кількість мін ОЗМ-72, яку необхідно підготувати,  $T_{\text{заг.}}$  – потрібний час підготовки загальної кількості мін ОЗМ-72;  $T_1$  – час підготовки одного зразка мін ОЗМ-72 за умов відсутності черги.

Тобто

$$\frac{1}{t_j} = \frac{N}{T_{\text{заг.}} - T_1}. \quad (10)$$

Значення  $t_j$  на кожному робочому місці є різним, тому виконання вимоги (10) можливе тільки у випадку збільшення значення  $v_j$ , якого можна досягти за рахунок введення додаткової кількості –  $(k_j - 1)$  працівників (складальників боєприпасів), які виконують роботу на кожному  $j$ -му робочому місці (мається на увазі, що на кожне робоче місце перед початком робіт розподілено по одному складальнику боєприпасів).

Таким чином значення інтенсивності обслуговування мін ОЗМ-72 на кожному робочому місці буде дорівнювати:

$$v'_j = \frac{k_j}{t_j}, \quad (11)$$

де  $k_j$  – кількість працівників на кожному робочому місці.

Під час аналізу процесу утилізації мін ОЗМ-72 (рис. 3) його необхідно розглядати як функціонування конвеєру послідовності декількох  $k_j$  – каналних систем масового обслуговування. При цьому значення інтенсивності обслуговування мін ОЗМ-72 на  $(j-1)$ -му робочому місці буде дорівнювати інтенсивності надходження мін ОЗМ-72 на обслуговування на  $j$ -те робоче місце:

$$v'_{j-1} = \lambda_j. \quad (12)$$

Для мінімізації втрати від несвоєчасного обслуговування мін ОЗМ-72 внаслідок перебування в чергах та простоїв працівників необхідно забезпечити виконання вимоги (12) тобто:

$$|v'_{j-1} - \lambda_j| \rightarrow \min, \quad j = \overline{1, n}. \quad (13)$$

Це дозволить зменшити значення коефіцієнтів (5) та (8).

Виходячи з розглянутого задачу оптимального розподілу працівників (складальників боєприпасів) по робочим місцям можна сформулювати у

наступному вигляді: необхідно мінімізувати  $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |v'_{j-1} - \lambda_j|$ ,  $i \neq j$ , при

обмеженнях:  $\sum_{j=1}^n k_j = K$ ;  $k_j \geq 1$ ;  $k_j$  – ціле число.

Для визначення  $k_j$  пропонується використовувати наступну методику.

1 етап. Визначити середні тривалості виконання робіт на кожному робочому місці –  $t_j$ .

2 етап. Проранжувати робочі місця у порядку зменшення часу виконання робіт  $t_j$ .

3 етап. Розподілити на кожне робоче місце по одній особі з числа працівників.

4 етап. Визначити кількість працівників  $(K - j)$ , що залишались не розподіленими.

5 етап. Призначити на перше робоче місце, визначене на 2 етапі додаткову кількість працівників  $(K - j)$ .

6 етап. Визначити значення  $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |v'_{j-1} - \lambda_j|$ ,  $i \neq j$ .

7 етап. Зменшити на одну особу кількість працівників на першому робочому місці, визначеному на 2 етапі, яку додати до наступного з місць, визначених на 2 етапі.

8 етап. Визначити значення  $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |v'_{j-1} - \lambda_j|$ ,  $i \neq j$ .

9 етап. У випадку зменшення визначеного значення  $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |v'_{j-1} - \lambda_j|$ ,  $i \neq j$  у

порівнянні з попереднім значенням виконують 7 та 8 етапи, до тих пір доки відбуватиметься зменшення значення  $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |v'_{j-1} - \lambda_j|$ ,  $i \neq j$ . У протилежному випадку

розподіл працівників по робочих місцях вважається оптимальним.

Для підтвердження адекватності запропонованої методики здійснено її апробацію з використанням вихідних умов, визначених із розробленого технологічного процесу утилізації протипіхотних осколкових мін, що вистрибують, кругової поразки ОЗМ-72:

- кількість операцій, які передбачає технологічний процес – 15 операцій;
- кількість протипіхотних мін ОЗМ-72 – 10000 шт.;
- забезпечення технологічного процесу необхідним майном та інструментами – 100%;
- забезпечення технологічного процесу необхідним людським ресурсом, в наступних співвідношеннях:

- $(n < m)$  – людський ресурс недостатній;
- $(n = m)$  – людський ресурс має ефективне співвідношення;
- $(n > m)$  – людський ресурс надлишковий.

За результатами проведених розрахунків визначені аналітичні залежності (рис. 4) між інтенсивністю надходження мін ОЗМ-72 на обслуговування  $\lambda$  та інтенсивністю проведення робіт  $v_j$  на кожному робочому місці, з урахуванням наявного людського ресурсу.

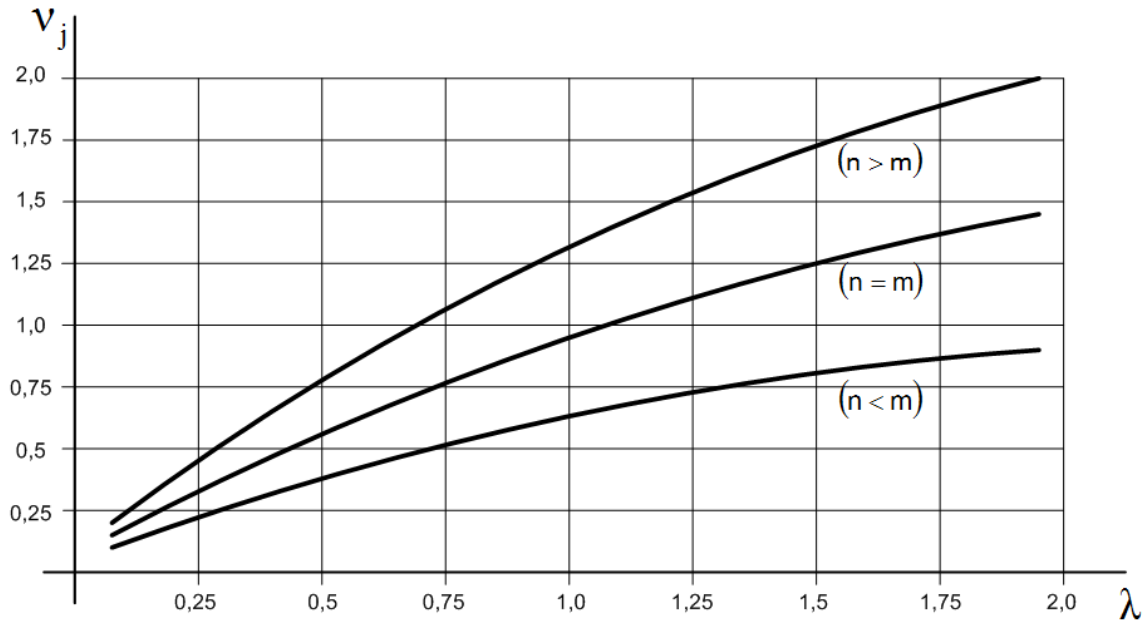


Рис. 4. Аналітичні залежності між інтенсивністю надходження мін ОЗМ-72 на обслуговування  $\lambda$  та інтенсивністю проведення робіт  $v_j$  на кожному робочому місці, з урахуванням наявного людського ресурсу

Також, для вибору оптимального співвідношення інтенсивності надходження мін ОЗМ-72 на обслуговування  $\lambda$  та інтенсивності проведення робіт  $v_j$  на кожному робочому місці, були визначені аналітичні залежності (рис. 5) зміни коефіцієнту простою мін ОЗМ-72  $R_{\text{мін}}$  та коефіцієнту простою працівників  $R_{\text{пр.}}$  від часу знаходження міни на  $i$ -му етапі (при виконанні  $i$ -ої операції).

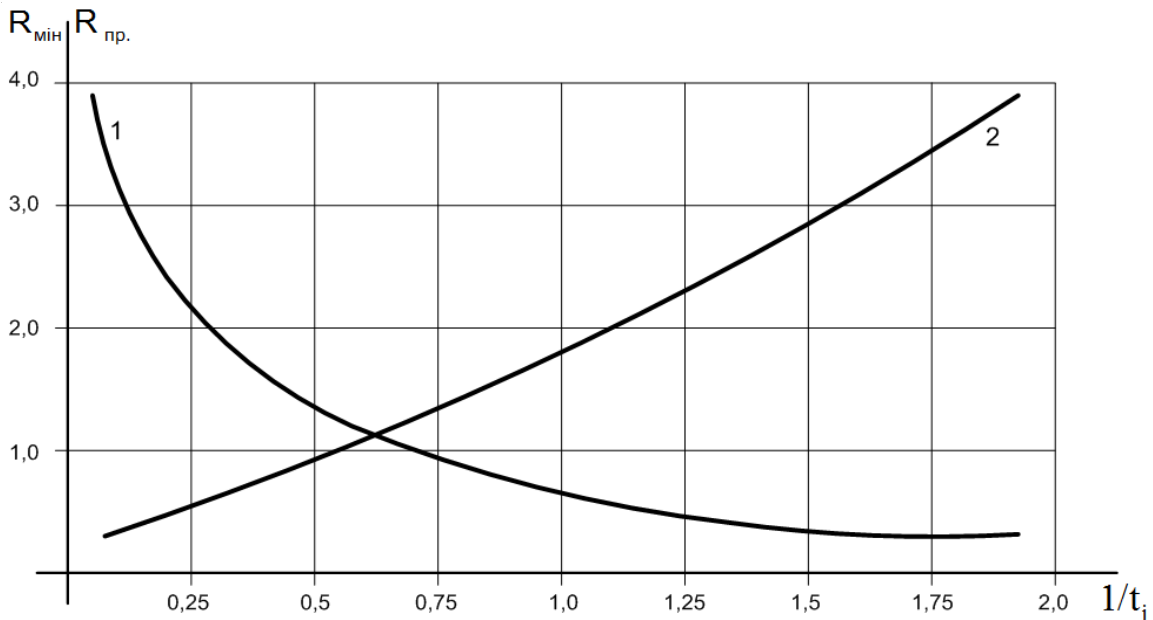


Рис. 5. Аналітичні залежності зміни коефіцієнту простою мін ОЗМ-72  $R_{\text{мін}}$  (1) та коефіцієнту простою працівників  $R_{\text{пр.}}$  (2) від часу знаходження міни на  $i$ -му етапі (при виконанні  $i$ -ої операції)

Перетинання залежностей 1 та 2 на рис. 5 зі співвідношенням 1,10...1,15 підтверджує розрахункові дані та уточнюючі ітерації при застосуванні запропонованої методики, що інтенсивність проведення робіт  $v_j$  на кожному робочому місці

та при реалізації всього технологічного процесу в цілому буде оптимальною у випадку, якщо людський ресурс для виконання буде надлишковим в межах 10...15%, що дасть змогу на найбільш відповідальних операціях залучити по декілька складальників боєприпасів.

При інших співвідношення інтенсивності проведення робіт  $v_j$  на кожному робочому місці, недостатній людський ресурс може призвести до наростання коефіцієнту простою мін ОЗМ-72  $R_{\min}$  при виконанні  $i$ -их операцій технологічного процесу.

## 5. Обговорення результатів досліджень щодо утилізації протипіхотних мін ОЗМ-72

В результаті проведених досліджень встановлено, що у відповідності до вимог чинних міжнародних та національних нормативно-правових документів, утилізація надлишкових боєприпасів, боєприпасів, непридатних для подальшого використання та зберігання, а також боєприпасів, що підлягають знищенню відповідно до міжнародних зобов'язань України є одною з пріоритетних задач в галузі протимінної діяльності в Україні, що в свою чергу підтверджує необхідність науково-технічного обґрунтування, розробки та впровадження нових та удосконалення існуючих технологій утилізації таких боєприпасів в державних масштабах. Це дасть змогу знизити ризики, які можуть виникати внаслідок несанкціонованих вибухів на складах, базах та арсеналах зберігання боєприпасів, до безпечного для життя і здоров'я населення рівня, мінімізувати соціальну напруженість серед населення, яке проживає на територіях або поблизу територій, де розташовані такі вибухонебезпечні об'єкти. З іншого боку, отримана при проведенні робіт з утилізації вторинна сировина, яка буде передана в народне господарство для повторного використання, забезпечить отримання певних надходжень до прибуткової частини державного бюджету та створить передумови до сталого функціонування системи протимінної діяльності, зокрема, та забезпечення національної безпеки нашої держави, в цілому.

Для досягнення мети, сформульованої в роботі в цій частині дослідження, було обґрунтовано доцільність та запропоновано технологічний процес безпечної утилізації шляхом розбирання протипіхотних мін ОЗМ-72. Наведені в роботі техніко-економічні розрахунки доводять фінансову обґрунтованість та необхідність організації робіт з утилізації надлишкових боєприпасів, боєприпасів, непридатних для подальшого використання та зберігання, а також боєприпасів, що підлягають знищенню, визначених на прикладі технологічного процесу розряджання протипіхотних осколкових мін, що вистрибують, кругової поразки ОЗМ-72. Кошторисні розрахунки доводять, що на кожні 10000 утилізованих протипіхотних осколкових мін, що вистрибують, кругової поразки ОЗМ-72, можна отримати орієнтовний прибуток у понад 0,5 млн. грн.

Також підтверджено, що ефективність і безпека при реалізації вищезазначеного технологічного процесу утилізації протипіхотних мін ОЗМ-72 буде залежати від розподілу особового складу та засобів по робочим місцям таким чином, щоб забезпечити проведення технологічних операцій на робочих місцях у випадкові періоди часу  $t$ , водночас, не допускати перевантаження окремих ділянок вибухонебезпечними предметами, що призведе до наростання коефіцієнту простою мін ОЗМ-72  $R_{\min}$  та коефіцієнту простою працівників  $R_{\text{пр}}$ , та збільшує ризик виникнення аварії, а також доведено, що при реалізації всього

технологічного процесу в цілому співвідношення між темпом надходження мін на утилізацію та розподілом працівників по робочих місцях буде оптимальним у випадку, якщо людський ресурс для виконання буде надлишковим в межах 10...15%, що дасть змогу на найбільш відповідальних операціях залучити по декілька складальників боєприпасів. З огляду на вищезазначене, в роботі вирішена задача оптимального розподілу особового складу та засобів по робочим місцям та проведена апробація отриманих результатів. Розв'язок задачі представляє собою математичну послідовність дій, що може бути застосована до тих чи інших конкретних умов з урахуванням певного об'ємно-планувального рішення цеху (цехів) для виконання вищезазначених операцій з утилізації протипіхотних мін ОЗМ-72.

## 6. Висновки

1. Розроблено технологічний процес утилізації протипіхотних мін ОЗМ-72 шляхом їх розбирання на складові елементи. На підставі проведеного в роботі аналізу чинних міжнародних та національних нормативно-правових актів, а також результатів наукових досліджень в галузі утилізації надлишкових боєприпасів, боєприпасів, непридатних для подальшого використання і зберігання та таких, що підлягають знищенню, а також з метою впровадження нових вискоєфективних технологій утилізації боєприпасів та їх елементів, розроблена технологія розряджання мін ОЗМ-72 шляхом їх розбирання на елементи, яка дозволяє раціонально вилучати всі необхідні вторинні матеріали. Проведені техніко-економічні розрахунки довели доцільність виконання цих робіт та визначено показники, які показують суттєві обсяги матеріалів вторинної сировини (із розрахунку на 10000 шт. протипіхотних мін ОЗМ-72, що розбираються), які можуть бути переданими в народне господарство для повторного використання, та в грошовому еквіваленті можуть складати до 520...540 тис. грн.

2. Розроблено методику оптимального розподілу персоналу по робочих місцях, а також здійснено її апробацію. Запропонована методика оптимального розподілу особового складу по робочим місцям з урахуванням ризику виникнення аварії. Апробація запропонованої методики та проведені розрахунки підтверджують, що інтенсивність проведення робіт  $v_j$  на кожному робочому місці та при реалізації всього технологічного процесу в цілому буде оптимальною у випадку, якщо людський ресурс для виконання буде надлишковим в межах 10...15%. Такий підхід може бути реалізований відповідними органами ДСНС України в процесі проведення експертизи утилізації боєприпасів і вибухівки під час здійснення заходів контролю, погодження нормативних та інших документів з питань утилізації.

## Література

1. Alternatives for the Demilitarization of Conventional Munitions. The National Academies Press. Washington. 2019. 132 p. URL: <https://www.nap.edu/read/25140/chapter/1> (дата звернення 25.02.2020).
2. Dynamic Disposal An Introduction to Mobile and Transportable Industrial Ammunition Demilitarization Equipment. RASR Issue Brief. Small Arms Survey. 2013. № 3. P. 1–16.
3. International ammunition technical guideline IATG 10.10:2015 [E]. Demilitarization and destruction of conventional ammunition. UN ODA, 2015. P. 40.



4. Неклонський І. М., Смирнов О. М. Розроблення технології утилізації капсульних втулок до артилерійських пострілів з урахуванням ризику виникнення аварії та економічної ефективності робіт. Проблеми надзвичайних ситуацій. 2017. Вип. 25. С. 73–84. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/4712> (дата звернення 25.02.2020).

5. Неклонський І. М., Смирнов О. М. Модель управління технологічними ризиками при впровадженні технології утилізації кумулятивних боєприпасів. Проблеми надзвичайних ситуацій. 2018. Вип. 27. С. 73–84. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/7364> (дата звернення 25.02.2020).

6. Pourhejazy P., Kwon O.K. The New Generation of Operations Research Methods in Supply Chain Optimization: A Review. Sustainability. 2016. V. 8(10). 23 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/su8101033>

7. Janos Sztrik. Basic Queueing Theory. Foundations of System Performance Modeling. Riga: GlobeEdit, 2016. P. 200.

8. Ekeocha Rowland, Ihebom Ikechi. The Use of Queueing Theory in the Management of Traffic Intensity. International Journal of Sciences. 2018. 4. P. 56–63. DOI: <https://doi.org/10.18483/ijSci.1583>

9. Hasson Aljebori Saad. Simulation approach to model queuing Problems: 3rd International Union of Arab Statisticians Scientific Conference 2011. Amman, 2011. P. 1–12.

10. Zhernovyi Yuriy. Creating Models of Queueing Systems Using GPSS World. Lambert Academic Publishing, 2015. P. 220.

11. GPSS world. URL: <http://www.minutemansoftware.com/simulation.htm> (дата звернення: 25.02.2020).

*O. Smyrnov, Senior Lecturer of the Department*

*I. Tolkunov, PhD, Associate Professor, Head of Department*

*National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine*

#### **IMPROVING THE EFFICIENCY OF UTILIZATION OF ANTI-LAND BLASTING MINES OZM-72**

The technology of discharging and utilization of anti-personnel fragmentation mines of circular destruction OZM-72 by disassembly into constituent elements has been developed, which allows rational extraction of all available materials and allows to obtain and transfer to enterprises scrap metal and other substances to be used in the national economy. To this end, the international and national regulatory framework in the field of reducing stocks of surplus ammunition, ammunition unsuitable for further use and storage and those to be destroyed and stored in warehouses, bases and arsenals of the Ministry of Defense of Ukraine, as well as scientific and practical research carried out by leading scientists in our country and abroad, which allowed to justify the feasibility and procedure for the disposal of selected for the study of mines OZM-72. To increase the efficiency of work on the disposal of the above ammunition developed a method of optimal distribution of personnel in the workplace, taking into account the risk of accident, which is a mathematical sequence of actions that can be applied to certain specific conditions, taking into account a specific spatial planning solution (shops) to perform the above operations for the disposal of antipersonnel fragmentation mines OZM-72. The results of testing the proposed method allowed to determine a number of analytical relationships that confirm the relationship between the intensity of mine OZM-72 for discharge and disposal and the intensity of work at each workplace, taking into account the available human resources, which in turn has a significant impact on time, and hence the ratio of downtime of mines and personnel in the workplace in the event of an unbalanced flow of mines on the production line or irrational distribution of personnel in the workplace. This approach can be implemented by the relevant bodies of the SES in the process of examination of the disposal of ammunition and explosives during the implementation of control measures, approval of regulations and other documents on disposal.

**Keywords:** utilization, explosive object, anti-personnel fragmentation shell jumping round mine OZM-72, ammunition collector

## References

1. Human Rights Watch и Landmine Action, Banning cluster munitions: state strategy and practice. (2009). Ottawa: Mines Action Canada, 249–250. URL: [http://lm.icbl.org/lm09\\_annual\\_report](http://lm.icbl.org/lm09_annual_report).
2. Kmeč Ján, Hreha Pavol, Hlaváček Petr, Zeleňák Michal, Harničárová Marta, Kuběna Vlastimil, Knapčíková Lucia, Mačej Tomáš, Duspara Miroslav, & Cumin Josip. (2010). Disposal of discarded munitions by liquid stream. Slovakia: Technical Gazette, 3(2010), 383–388.
3. Sladkov, V. Yu., & Dudina, Yu. V. (2011). Promising methods of demilitarization and utilization of ammunition. *Izvestiya TulSU. Technical science. Problems of special mechanical engineering*. Tula: TulSU, 2, 302–307.
4. Chaika, T. V., Gavrish, V. M., Derbasova, N. M., & Vasiliev, D. M. (2015). Utilization of explosives and ammunition by a microbiological method with automated control of process parameters. Sevastopol: FGAOU VO «Sevastopol State University», Institute of Natural and Technical Systems, 144–149.
5. Shyman, L., & Ustimenko, Y. (2009). Disposal and destruction processes of ammunition, missiless and explosives, which constitute danger when storing. *NATO Security through Science Series. C: Environmental Security*, 147–152.
6. Haibo, Liu, Yidong, Wang, & Hongjuan, Zhu. (2015). The Technology Method Research Of Scrap Ammunition Destruction / Liu Haibo, Wang Yidong, Zhu Hongjuan // 3rd International Conference on Mechanical Engineering and Intelligent Systems (ICMEIS 2015). Beijing, China: Department of naval equipment, 201–205.
7. Army launches biggest project in past 20 years to dispose of surplus and obsolete munitions. (2015). Rock Island Arsenal, Illinois. URL: <https://www.military aerospace.com/test/article/16714022>
8. Demilitarization and destruction of conventional ammunition. (2015). *International ammunition technical guideline IATG 10.10:2015*. UN ODA, 40.
9. A structured approach to Enterprise Risk Management (ERM) and the requirements of ISO 31000. (2010). AIRMIC, Alarm, IRM, 18.
10. Smirnov, O. M., Barbashin, V. V., & Tolkunov, I. O. (2018). Utilization and destruction of explosive objects: textbook. way. Volume 3. Organization of utilization and destruction of missiles and ammunition at arsenals, bases and warehouses. Khar'kov: NUCDU, FOP Panov A. M., 416.
11. Ventzel, E. S. (1980). *Operations research: tasks, principles, methodology*. Moscow: The main edition of the physical and mathematical literature.

Надійшла до редколегії: 07.04.2020

Прийнята до друку: 22.04.2020