

УДК 623.48:614.833:519.8

*І. М. Неклонський, к.військ.н., викл. каф. (ORCID 0000-0002-5561-4945)**О. М. Смирнов, ст. викл. каф. (ORCID 0000-0002-1237-8700)**Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна*

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИПАЛЮВАННЯ ТРАСЕРІВ ІЗ АРТИЛЕРІЙСЬКИХ СНАРЯДІВ МАЛИХ КАЛІБРІВ

Розроблений поетапний технологічний процес розрядження 23 мм або 30 мм артилерійських снарядів, який забезпечує ефективну утилізацію трасуючої сполуки із корпусів. Автоматизація процесу утилізації досягається застосуванням спеціальної установки з випалювання трасуючої сполуки, яка сформована у технологічну лінію. Ініціювання загоряння горючої речовини здійснюється за допомогою електромагнітного імпульсу. Економічна доцільність запропонованої технології обумовлена мінімальними трудовими витратами, максимальної продуктивністю, належним рівнем безпеки та екологічністю. Проведено формалізацію задачі оцінювання ефективності процесу утилізації, що дозволило оптимізувати рішення щодо управління таким процесом. Формалізована модель представляє собою адитивну задачу динамічного програмування. Параметризація умов задачі зводиться до того, що під час планування багатоетапної технологічної операції необхідно вибирати управління на кожному етапі з урахуванням усіх наслідків на майбутніх етапах. Запропонований порядок розв'язання задачі оптимізації процесу управління утилізацією артилерійських снарядів для багатоетапної технологічної операції. Розв'язання передбачає вибір раціонального рішення з дотриманням принципу оптимальності, що є основою рішення задач динамічного програмування. Розв'язання задачі динамічного програмування процесу утилізації артилерійських снарядів надано у загальному вигляді. Дослідження обумовлені необхідністю обґрунтування ефективних організаційних рішень щодо удосконалення технологічної політики утилізації боєприпасів. Результати дослідження можуть бути реалізовані як виконавцями робіт з утилізації, так і відповідними органами державного нагляду у сфері техногенної та пожежної безпеки в процесі проведення експертизи утилізації боєприпасів і вибухівки під час здійснення заходів контролю, погодження нормативних та інших документів з питань утилізації.

Ключові слова: технологія утилізації, артилерійські снаряди, випалювання трасуючої сполуки, динамічне програмування, оптимізація

1. Вступ

Враховуючи досвід утилізації озброєнь, військової техніки та боєприпасів необхідно зазначити, що з багатьох технологій стосовно знищення та утилізації озброєння і боєприпасів з економічних міркувань не завжди вибирають найефективніші процедури. У багатьох випадках процедури стосовно підвищення рівня безпеки збільшували вартість утилізації. Це є приводом для застосування простіших методів утилізації, що ускладнює отримання в процесі утилізації не тільки виробів спецхімії та вибухопожежобезпечних елементів, а й металобрухту і вторинної сировини. Крім того, технологічна політика утилізації боєприпасів, насамперед, має забезпечити техногенну та екологічну безпеку під час організації і виконання всіх необхідних робіт. Особливо це стосується боєприпасів малих калібрів, де компоненти, що містять трасуючі сполуки, не підлягають розбиранню.

Так, з урахуванням терміну придатності, підлягають утилізації 23 мм та 30 мм артилерійські снаряди наступної номенклатури: 23 мм УОР1 зі снарядом ОФЗТ із А-ІХ-2 і трасером, 23 мм УБР1 зі снарядом БЗТ із ДУ-5 і трасером, 30 мм УОР6 зі снарядом ОР2 (ОР) із А-ІХ-2 і трасером, 30 мм УБР6 із снарядом БТ і трасером. У відповідних снарядах технологічно неможливо вилучити трасуючу сполуку шляхом розбирання на окремі елементи.

За існуючими технологіями, утилізація відповідних боєприпасів передбачає
weapons and military equipment. DOI: 10.52363/2524-0226-2022-36-25

ється шляхом підриву або спалюванням (випалюванням) їх елементів після розбирання в спеціально обладнаних місцях (підривних майданчиках) з використанням відповідного обладнання із подальшим похованням відходів. Дані технології не наділені можливістю достатньо раціонального вилучення цінних матеріалів при утилізації.

Виходячи з цього, проблема раціональної утилізації 23 мм або 30 мм артилерійських снарядів є актуальною.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Першим кроком щодо удосконалення технології розрядження боєприпасів малих калібрів є розроблення спеціальної установки для випалювання трасуючої сполуки із корпусів 23 мм та 30 мм артилерійських снарядів. Установка дозволяє випалювати способом нагріву за допомогою дії відкритого полум'я (передбачено розведення багаття) у бронепечі на підривному майданчику. Технологія розроблена відповідно «Инструкции по разрядке и уничтожению боеприпасов на арсеналах, базах и окружных складах» 1986 р. До основних операцій, які на установці виконуються вручну, відносяться контроль артилерійських снарядів на допуск до розрядження, завантаження установки корпусами артилерійських снарядів та безпосередньо їх розрядження шляхом випалювання трасуючої сполуки за допомогою багаття. Зазначена установка визначається простотою виготовлення. У той же час такій установці притаманний ряд недоліків, а саме: підвищена небезпека виконання робочих операцій; низька продуктивність процесу розрядження артилерійських снарядів, яка пов'язана із використанням ручної праці; недостатньо висока якість очистки корпусів артилерійських снарядів, що потребує додаткових витрат щодо їх переробки для вторинного використання, а також істотне забруднення навколишнього середовища шкідливими побічними продуктами процесу утилізації.

Аналіз концепцій утилізації звичайних боєприпасів у країнах НАТО показує, що спостерігається тенденція розроблення технологій, які не передбачають відкритого спалювання або відкритої детонації.

Так, в роботі [1] проведений аналіз шкідливого впливу так званих відкритих технологій утилізації та впровадження нових, альтернативних. Серед альтернативних набувають подальшого розвитку технології, де присутні спеціальні установки, принцип дії яких оснований на використанні певного типу закритого горіння або локалізованої детонації. Але ще залишаються типи боєприпасів, утилізацію яких приходиться здійснювати відкритим способом із-за відсутності інших технологій. Разом з тим, питання щодо управління відповідними процесами автори розглядають з позиції нормативно-технічного регулювання організації робіт у сфері захисту навколишнього середовища. Аналіз технологічного процесу новітніх установок та дослідження щодо удосконалення системи управління цим процесом авторами не проводився.

Окремі технологічні особливості розглянуті в роботі [2], де проведено дослідження технологічних установок з утилізації стрілецької зброї та в [3], де досліджується ефективність мобільних або модульних установок утилізації боєприпасів та їх характеристики. Але в роботах залишилась не дослідженою проблематика щодо удосконалення утилізації боєприпасів, які містять трасуючі сполуки.

Відсутність акцентованих досліджень щодо удосконалення утилізації боєприпасів, які містять трасуючі сполуки, можна пояснити проаналізувавши між-

народні технічні вимоги щодо утилізації боєприпасів [4]. Відповідно [4] одним із способів утилізації є «збільшення використання під час тренувань». Тому, в цілому, проблема утилізації надлишкових боєприпасів малих калібрів в країнах НАТО не стоїть гостро так, як боєприпаси, граничні терміни зберігання яких закінчуються, витрачаються в ході бойових навчань, а арсенали поповнюються новими зразками, і цей процес має циклічний характер. З урахуванням цього досліджуються переважно питання логістики або суто технічні щодо впровадження певних автоматизованих систем або ліній щодо їх виробництва.

Серед національних досліджень проблемам науково-технічного супроводження процесів утилізації боєприпасів присвячений цикл статей, останньою з якого є робота [5]. Метою дослідження є розроблення високоефективної технології утилізації артилерійських пострілів УБК10 та обґрунтування ефективних організаційних рішень щодо впровадження відповідної технології. Авторами розроблено: технологію утилізації артилерійських пострілів, яка дозволяє раціонально і безпечно вилучати всі елементи й дає можливість використовувати ці елементи в нових цілях; математичну модель процесу утилізації, математичний апарат якої дозволяє пов'язати задані умови технологічного процесу, формалізованого в багатоканальну систему масового обслуговування, з характеристиками, що цікавлять організатора робіт – показниками ефективності роботи відповідної системи масового обслуговування. Разом з тим, оптимізація системи управління процесом утилізації з урахуванням відповідних показників авторами не розглядалась. Крім того, авторами не враховується, що змодельований поетапний процес утилізації може характеризуватись різними параметрами – чисельними виразами, векторами, функціями. При чому, останніми двома у більшості випадків.

Проведений аналіз дає підстави стверджувати, що в даний час практично немає універсальної технології випалювання трасуючої сполуки із корпусів 23 мм або 30 мм артилерійських снарядів, яка б дозволяла раціонально вилучати всі необхідні матеріали і одночасно забезпечувала б техногенну та екологічну безпеку під час виконанні всіх необхідних робіт. Універсальність технології має враховувати специфіку окремих номенклатур боєприпасів, з яких за конструктивними особливостями неможливо вилучити небезпечні сполуки шляхом зорбирання на елементи. Крім того відсутні аналітичні інструменти щодо оптимізації процесу управління відповідною технологією з урахуванням зазначених вимог.

Таким чином, невирішеною частиною розглянутої проблеми є відсутність універсальної високоефективної технології випалювання трасуючої сполуки із корпусів 23 мм або 30 мм артилерійських снарядів.

3. Мета та задачі дослідження

Метою роботи є розроблення високоефективної технології розряджання корпусів 23 мм або 30 мм артилерійських снарядів та оптимізація організаційних рішень щодо управління відповідним процесом утилізації.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

– розробити поетапний технологічний процес розряджання 23 мм або 30 мм артилерійських снарядів, який забезпечить ефективну утилізацію трасуючої сполуки із корпусів, у тому числі із застосуванням систем автоматизації;

– провести формалізацію задачі оцінювання ефективності процесу утилізації, що дозволить оптимізувати рішення щодо управління таким процесом;

– розробити порядок розв’язання задачі оптимізації процесу управління утилізацією артилерійських снарядів, якщо розрядження представляє собою багатоступеневу технологічну операцію.

4. Матеріали та методи дослідження

Об’єкт дослідження – технологія утилізації боєприпасів. Предмет дослідження – технологічний процес випалювання трасуючої сполуки із корпусів 23 мм або 30 мм артилерійських снарядів.

Універсальна технологія випалювання трасуючої сполуки із корпусів 23 мм або 30 мм артилерійських снарядів має забезпечити раціональне вилучення всіх необхідних матеріалів і одночасно забезпечити техногенну та екологічну безпеку під час виконання всіх необхідних робіт. Універсальність технології полягає у врахуванні специфіки окремих номенклатур боєприпасів, з яких за конструктивними особливостями неможливо вилучити небезпечні сполуки шляхом розбирання на елементи.

Основні ідея щодо оптимізації організаційних рішень щодо управління відповідним процесом утилізації враховує наступні припущення:

– технологічний процес випалювання трасуючої сполуки формалізується у багатоступеневу операцію;

– плануючи багатоступеневу операцію потрібно вибирати управління на кожному етапі з урахуванням усіх його майбутніх наслідків на наступних етапах;

– яким би не був стан досліджуваної системи перед наступним етапом, потрібно вибирати управління на цьому етапі так, щоб кращий результат на даному етапі плюс раціональний результат на усіх наступних етапах були максимальними.

Методи дослідження визначаються сукупністю вирішуваних завдань і базуються на принципах конструювання, які застосовані під час розроблення установок для розрядження 23 мм або 30 мм артилерійських снарядів; включають методи аналізу та синтезу, які використані під час розроблення технологічного процесу розрядження; метод динамічного програмування, який використаний для розв’язання задачі оптимізації організаційних рішень щодо управління процесом утилізації артилерійських снарядів. Для апробації отриманих результатів доцільно застосувати методи імітаційного моделювання за допомогою інструментальних засобів GPSS World.

Використання відмічених методів дослідження в ході розв’язання поставленого наукового завдання дозволило отримати наступні наукові результати.

5. Розроблення технології утилізації артилерійських снарядів

Розроблення технологій розрядження боєприпасів має певну специфіку, яку слід обов’язково враховувати при проведенні робіт. Утилізація боєприпасів є роботою з підвищеною небезпекою, вимагає наявності висококваліфікованих фахівців, специфічного технологічного устаткування, виробничих і складських приміщень, що відповідають умовам вибухопожежобезпеки.

Практика показала, що максимальна економічна ефективність програм утилізації боєприпасів може бути досягнута тільки більш досконалою переробкою матеріалів і сировини, одержаних при утилізації, в продукцію і реалізації їх на комерційній основі, у тому числі і за кордоном.

З метою впровадження нових високоефективних технологій утилізації боєприпасів і їх елементів запропоновано технологію випалювання трасуючої сполуки

із корпусів 23 мм або 30 мм артилерійських снарядів за допомогою установки випалювання трасуючих сполук та пластинчатого транспортера ПТ-600 на ділянці, обладнаній у виробничих приміщеннях цеху, яка дозволяє раціонально вилучати всі необхідні матеріали. Для розряджання артилерійських снарядів, розроблена спеціальна установка, модель якої представлена на рис. 1.

Перш за все необхідно розглянути заходи щодо обладнання та забезпечення безпеки місця роботи. Перед початком роботи місце по розряджання артилерійських снарядів повинно бути оснащено установкою для випалювання трасуючих сполук та пластинчатого транспортера ПТ-600, справним інструментом, засобами пожежогасіння й індивідуального захисту.

Установка для розряджання (випалювання трасуючої сполуки) сформована у технологічну лінію та складається з транспортера 1, на якому на небезпечній щодо детонації відстані одна від одної зафіксовані опорні дерев'яні планки 15, які закріплені на пластинах конвеєра ПТ-600 12 для корпусів 23 мм та 30 мм артилерійських снарядів 3, що розряджаються. На транспортері 1 встановлений захисний кожух 8 з вхідними і вихідними отворами які перекриті шиберами 4 (рис. 1б), а під захисним кожухом 8 розміщена система 2 відведення порохових газів. На виході з транспортера 1 встановлений контейнер 13 для збору розряджених корпусів 23 мм та 30 мм артилерійських снарядів 11 (рис. 1б). В середині обладнаного шиберами захисного кожуху нагрівальні елементи (4 од.), які виконані у вигляді електронагрівальних пластин з металевими штирями, кількість і розміщення яких співпадає з кількістю та розміщенням артилерійських снарядів на опорних дерев'яних планках 15. У захисному кожуху 8 встановлений кінцевий датчик 5 переміщення опорних дерев'яних планок, які закріплені на пластинах конвеєра 12 із корпусами артилерійських снарядів, а також датчики 6 та 10 часу нагріву нагрівальних елементів (4 од.) (рис. 1б).

Установка функціонує в автоматизованому режимі наступним чином. На подаючому транспортері 1, наприклад ПТ-600, у шафі 7 закріплюються з рівними кроками подання під захисний кожух 8 опорні дерев'яні планки 15, а на них розміщуються корпуса 23 мм та 30 мм артилерійських снарядів для розряджання 3. Запуск транспортера 1 забезпечує переміщення опорних дерев'яних планок 15 із корпусами 23 мм та 30 мм артилерійських снарядів з рівним шагом під захисний кожух 8.

При цьому послідовність роботи установки регулюється автоматично за сигналами датчиків 5, 6 та 10 таким чином, що після проходження опорних дерев'яних планок 15 через шибера 4 на вході захисного кожуху 8 спрацьовує кінцевий датчик 5 (рис. 1б) переміщення опорних дерев'яних планок 15, корпуса 23 мм та 30 мм артилерійських снарядів 3 стають напроти нагрівальних елементів 9 та над системою 2 відведення порохових газів. Одночасно із спрацьовуванням кінцевого датчика 5 спрацьовує датчик 6, що із встановленою затримкою у часі (декілька секунд) утворює електромагнітний імпульс, тим самим нагрів нагрівальних елементів 9 до 300 °С під захисним кожухом 8. Після випалювання трасуючої сполуки – 10–20 с спрацьовує кінцевий датчик 10 і подає сигнал на пуск транспортера 1, який подає наступну опорну планку із корпусами снарядів в захисний кожух 8 напроти нагрівальних елементів 9 із подальшим повторенням циклу розряджання, а опорні планки із розрядженими корпусами снарядів 11 зміщуються до контейнеру 13 після проведенням візуального контролю на повноту розряджання.

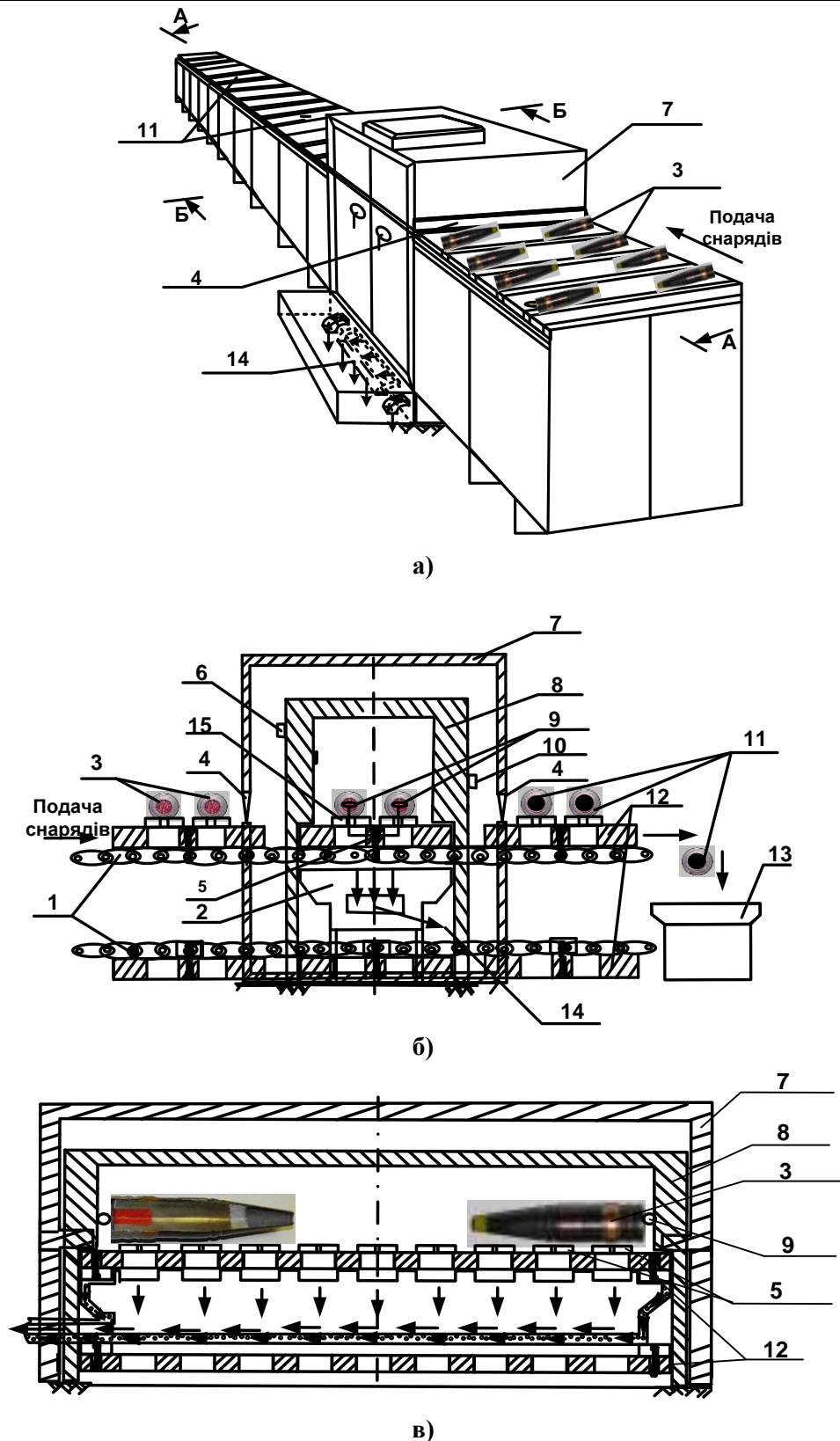


Рис. 1. Установка для розрядження 23 мм або 30 мм артилерійських снарядів: а – загальний вигляд; б – вигляд у розрізі А-А; в – вигляд у розрізі Б-Б; 1 – транспортер (ПТ-600); 2 – система відведення порохових газів; 3 – 23 мм або 30 мм артилерійські снаряди (4 шт.); 4 – шибєр (2 шт.); 5 – кінцевий датчик переміщення опорних дерев'яних планок; 6, 10 – датчики часу нагріву нагрівальних елементів; 7 – шафа установки; 8 – захисний кожух; 9 – нагрівальні елементи (4 шт.); 11 – корпуса розряджених артилерійських снарядів; 12 – пластини конвєсєра; 13 – контейнер з розрядженими снарядами; 14 – відведення порохових газів; 15 – опорні дерев'яні планки (4 шт.)

Техногенна та екологічна безпека гарантується здійсненням випалювання трасуючої сполуки під захисним кожухом 8, ізоляцію якого після входу та виходу опорних планок з корпусами артилерійських снарядів 3 забезпечують шибери 4 (вхідний та вихідний) (рис. 1б), а порохові гази, що утворюються під захисним кожухом 8, через систему 2 постійно видаляються примусовою витяжною вентиляцією назовні приміщення.

Роботи з утилізації доцільно виконувати на ділянці, обладнаній у виробничих приміщеннях цеху, в наступній послідовності:

1. Подача ящиків із артилерійськими снарядами з автомобілю до цеха, та укладання на технологічний стіл (візок) або ПТ-600.

2. Видалення стопорних вилок, відкривання замків та кришки ящика. Видалення верхніх вкладишів та парафінованого паперу. Видалення артилерійських снарядів із ящика та укладання на опорні дерев'яні планки, які закріплені на пластинках конвеєра ПТ-600.

3. Контроль ящиків на повноту вилучення артилерійських снарядів, вкладання вкладишів і парафінованого паперу, закривання порожніх ящиків і передача їх на ділянку пакування елементів після розряджання артилерійських снарядів.

4. Вилучення: дві шашки розривного заряду А-ІХ-2, вставлених у корпус снаряда, та піджатих двома картонними кільцями; запалювальну шашку ДУ-5, яка закріплена на церезиновій суміші до балістичного наконечника, перед цим, балістичний наконечник зламують за допомогою пристосування.

5. Контроль артилерійських снарядів на відсутність А-ІХ-2 або ДУ-5 та подача за допомогою ПТ-600 до спеціальної установки із розряджання (випалювання трасуючої сполуки) способом нагріву.

6. Випалювання. Операцію виконувати на спеціальній установці для розряджання (випалювання) трасерів автоматизованим способом, за допомогою електронагрівачів впритул підведених до трасуючої сполуки (одночасно випалюються – 4 шт.): Після проходження шибера спрацьовує кінцевий датчик, опорні дерев'яні планки, які закріплені на пластинках конвеєра ПТ-600, з укладеними на них снарядами стають проти контактів електронагрівачів: нагрів трасуючої сполуки до 300 °С протягом 15–20 с; знизу – захисного кожуха для відведення порохових газів, під час випалювання (розряджання) трасерів. Саме на цей кожух опиратиметься пластина зі снарядами, під час випалювання (див. рис. 1). Для виключення прориву порохових газів у приміщення цеху, через негерметичні отвори, захищатиме верхня та нижня частини захисного кожуху, який обладнаний двома шиберами. Повітря під цим захисним кожухом постійно видаляється назовні примусовою витяжною вентиляцією. Під час спрацьовування кінцевого датчика – подається напруга на нагрівальні елементи (нагрів приблизно до 300 °С, для надійного процесу випалювання протягом 15–20 с усіх 4-х снарядів одночасно. Після випалювання (через 20 с) спрацьовує кінцевий датчик і за допомогою транспортеру корпусу снарядів подаються до місця накопичування у спеціальну зборку, а наступні снаряди подаються до спеціальної установки, таким чином забезпечено непереривний процес випалювання.

7. Після розряджання, розряджені артилерійські снаряди за допомогою ПТ-600 подаються до місця накопичування у спеціальну зборку – тару. Взяти тару, з розрядженими артилерійськими снарядами, за ручки і перенести до місця контролю на повноту випалювання трасуючої сполуки.

8. Перевірка артилерійських снарядів на повноту випалення трасуючої сполуки. Чищення корпусів снарядів від шлаку. При наявності трасуючої сполуки корпусу снарядів підлягають повторному випалюванню – такі артилерійські снаряди складаються окремо.

9. Закріпити корпус снаряда на станку, зняти ведучий поясок та покласти у зборку. Подача зборок до місця пакування.

10. Пакування розряджених (холостих) корпусів артилерійських снарядів та ведучих поясків у пристосовані ящики. Закривання, пломбування та маркування ящиків.

11. Контроль пакування елементів артилерійських снарядів у ящиках. Видача корпусів артилерійських снарядів та ведучих поясків до місць постійного зберігання.

12. Допоміжні операції: Різання паперу і просочення її парафіном. Сортування парафінованого паперу. Нарізання пломбувального дроту на шматки необхідної довжини. Виготовлення трафаретів і ярликів.

Таким, чином, утилізація артилерійських снарядів на установці для розряджання, випалювання трасуючих сполук із корпусів артилерійських снарядів та пластинчатого транспортера ПТ-600 безпосередньо у приміщенні спеціалізованого цеху, представляє собою автоматизований процес послідовного виконання операцій № 1–12. Особливо небезпечна операція – № 6.

6. Формалізація задачі оцінювання ефективності процесу утилізації артилерійських снарядів

Аналіз технологічного процесу, що розглянутий вище, показує, що він представляє собою певну операцію, яка складається з декількох послідовних кроків – етапів. При чому, в процесі є етапи із застосуванням ручної праці, а є автоматизовані. Для побудови ефективної системи управління таким процесом необхідно мати інструменти, які дають можливість вибирати певні рішення на кожному етапі, що впливатимуть на ход і ісход всього процесу. В такому випадку доцільно провести формалізацію даного процесу із застосуванням методу динамічного програмування [6, 7].

Нехай процес утилізації являє собою операцію Q , яка складається з m етапів, а ефективність операції характеризується показником W (виграш). Припустимо, що показник W має властивості адитивного критерію [8], тобто

$$W = \sum_{i=1}^m w_i, \quad (1)$$

де w_i – показник ефективності операції на i -му етапі.

Операцію Q представляє собою процес управління, в якому приймається рішення: «Вибирати певні параметри, які впливають на його перебіг і ісход, при чому, на кожному етапі вибирається якесь рішення від якого залежить ефективність даного етапу і ефективність всієї операції». Таким чином, ми маємо так зване поетапне управління (x_1, x_2, \dots, x_m) і управління операцією в цілому x . Тоді,

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_m), \quad (2)$$

де x_1, x_2, \dots, x_m – можуть мати не чисельний вигляд (вектор, функція).

Необхідно знайти таке управління x , при якому показник W є максимальним:

$$W = \sum_{i=1}^m w_i \Rightarrow \max. \quad (3)$$

Те управління x^* , при якому цей максимум досягається будемо називати оптимальним управлінням. Воно складається із сукупності оптимальних поетапних управлінь:

$$x^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*). \quad (4)$$

Максимальний показник ефективності, який досягається при такому управлінні буде розраховуватись за формулою:

$$W^* = \max_x \{W(x)\}. \quad (5)$$

Якщо максимум береться за всіма управліннями X , які можливі в даних умовах, то це позначається, і формула (5) прийме вигляд:

$$W^* = \max_{x \in X} \{W(x)\}. \quad (6)$$

Таким чином, проведено формалізацію процесу утилізації, що дозволяє провести оптимізацію рішень щодо управління таким процесом.

7. Розв'язання задачі динамічного програмування процесу утилізації артилерійських снарядів

З точки зору практичної діяльності, як правило, більше буде цікавити не суворо оптимальне, а «прийнятне» (раціональне) рішення, яке не дуже відрізняється від оптимального по значенню W^* [9]. В такому разі задача вибору такого рішення має базуватись на дотриманні принципу оптимальності, що є основою рішення задач динамічного програмування.

Представимо процес утилізації як керовану систему S з певними параметрами, що характеризують її стан. Тоді яким би не був стан системи S перед наступним етапом (кроком), потрібно вибирати управління на цьому етапі так, щоб w_i на даному етапі плюс оптимальний w_i на усіх наступних етапах був максимальним.

Дотримуючись відповідного принципу розв'язання задачі динамічного програмування процесу утилізації артилерійських снарядів прийме такий вигляд:

1. Вибрати параметри, які характеризують стан S керованої системи перед кожним етапом.

2. Розкласти операцію на етапи.

3. З'ясувати перелік поетапних управлінь x_i та обмеження відносно них.

4. Записати «функцію виграшу», тобто яке значення має показник ефективності на i -му етапі управління x_i , якщо перед цим система була у стані S :

$$w_i = f_i(S, x_i). \quad (7)$$

5. Визначити як зміниться стан S системи під впливом x_i на i -му етапі:

$$S' = \varphi_i(S, x_i). \quad (8)$$

При чому, необхідно розуміти, що аргументи функцій (7), (8) у загальному випадку не числа, а є їх сукупністю (векторами).

6. Записати основне рекурентне рівняння динамічного програмування, яке описує умовний виграш $W_i(S)$ (з i -го етапу до кінця) через уже відому функцію $W_{i+1}(S)$:

$$W_i(S) = \max_{x_i} \{f_i(S, x_i) + W_{i+1}(\varphi_i(S, x_i))\}. \quad (9)$$

Цьому виграшу відповідає умовне оптимальне управління на i -му етапі $x_i(S)$. При цьому в уже відому функцію $W_{i+1}(S)$ необхідно замість S підставити змінений стан $S' = \varphi_i(S, x_i)$.

7. Провести умовну оптимізацію останнього етапу (m). При цьому, із набору станів S , із яких можна за один етап (крок) дійти до кінцевого стану, вирахувати для кожного з них умовний оптимальний виграш:

$$W_m(S) = \max_{x_m} \{f_m(S, x_m)\}, \quad (10)$$

розраховуючи умовне оптимальне управління $x_m(S)$, для якого цей максимум досягається.

8. Провести умовну оптимізацію $(m-1)$ -го, $(m-2)$ -го і т.д. етапів за формулою (9), вважаючи, що $i = (m-1), (m-2), \dots$, – для кожного етапу вказати умовне оптимальне управління $x_i(S)$, при якому досягається максимум.

9. Провести безумовну оптимізацію управління, враховуючи відповідні рекомендації на кожному етапі. Для цього взяти оптимальне управління на першому етапі $x_1^* = x_1(S_0)$, змінити стан системи за формулою (8). Для знову визначеного стану знайти оптимальне управління на другому етапі $x_2^* = x_2(S_1)$ і так до останнього етапу.

Розв'язання задачі динамічного програмування процесу утилізації артилерійських снарядів надано у загальному вигляді. У прикладному варіанті застосування розробленого інструменту залежить від того, які параметри системи S , що характеризують її стан, актуальні досліднику.

8. Обговорення результатів динамічного програмування процесу утилізації артилерійських снарядів

Отримані результати пояснюються необхідністю удосконалити національну систему утилізації боєприпасів шляхом впровадження нової технології утилізації артилерійських снарядів малих калібрів та оптимізації організаційних рішень щодо управління відповідним процесом утилізації.

Особливістю запропонованого технологічного процесу утилізації є представ-

лення його як багатоетапну операцію, де існує поєднання етапів ручної праці з автоматизованими. При цьому застосовується метод динамічного програмування. Саме застосування даного методу для оптимізації відповідного процесу утилізації виглядає логічним, так як саме цей метод є спеціально пристосованим саме для таких («багатоетапних») операцій.

Разом з тим, необхідно розібратись у особливостях застосування принципу оптимальності. Плануючи багатоетапну операцію, необхідно вибирати управління на кожному етапі з урахуванням усіх наслідків на майбутніх етапах. Управління на i -му етапі вибирається не так, щоб виграш саме на даному етапі був максимальним, а так щоб була максимальною сума вирашів на усіх етапах, які необхідно виконати до кінця операції, плюс даний вираш. Виключенням є останній етап. Очевидно, що його необхідно планувати так, щоб він сам приніс найбільшу вигоду.

Тому процес динамічного програмування може бути розвернутий від кінця до початку: спочатку планується останній, m -й етап. А для цього необхідно знати умови в яких, ми переходимо до цього останнього етапу. І тут виходить, що плануючи останній етап, потрібно зробити різні припущення про те, чим завершиться передостанній, $(m - 1)$ -й етап. І для кожного із цих припущень потрібно знайти умовне оптимальне управління на m -му етапі.

Таким чином, при оптимізації управління методом динамічного управління багатоетапний процес доводиться проходити два рази. Спочатку – умовну оптимізацію, а потім – безумовну оптимізацію.

Також необхідно зауважити, що може так трапитися, що стан системи S в початковий момент буде відомим. Тоді на першому кроці варіювати стан системи не потрібно – безпосередньо знаходиться оптимальний вираш для даного початкового стану. Це й буде оптимальний вираш за всю операцію.

У прикладному варіанті вирішення задачі динамічного програмування процесу утилізації залежить від того, які параметри системи S , що характеризують її стан, є актуальними. Пріоритетними у даному випадку є умови продуктивності робіт і, обов'язково, безпеки.

Вагомим обмеженням щодо застосування процедури оптимізації відповідного технологічного процесу є розуміння ефективності останнього етапу. Крім того, кількість етапів необхідно вибирати з урахуванням двох умов: етап має бути достатньо дрібним, для того щоб процедура оптимізації поетапного управління була достатньо простою; етап має бути не зовсім дрібним, щоб не робити додаткових непотрібних розрахунків, які будуть ускладнювати процедуру пошуку оптимального рішення, але не призводити до суттєвої зміни оптимуму цільової функції.

Суттєвою проблемою щодо застосування динамічного програмування у даному випадку може стати, коли стан досліджуваної системи буде описуватись великою кількістю параметрів. Тоді стає важко перед кожним етапом проаналізувати всі варіанти і для кожного знайти оптимальне умовне управління. Тому дуже важливо уміти правильно поставити задачу – обійти опцію багатовимірності фазових координат досліджуваної системи. Тобто, багато в чому у застосуванні методу динамічного програмування залежить від досвіду дослідника.

Апробація аналітичної моделі здійснена шляхом порівняння відповідних стаціонарних значень, отриманих аналітичним методом, з результатами імітаційного моделювання за допомогою інструментальних засобів GPSS World [10]. Корисна модель установки для розряджання 23 мм або 30 мм артилерійських снарядів. [doi: 10.52363/2524-0226-2022-36-25](https://doi.org/10.52363/2524-0226-2022-36-25)

дів (рис. 1) заявлена для патентування. Разом з тим, апробацію в натуральних (лабораторних) умовах та впровадження результатів дослідження доцільно провести на спеціальних виробничих майданчиках. Саме натуральні дослідження мають дати розвиток даного дослідження та відповісти на питання як існуючі недоліки можуть бути усунуті в перспективі.

Результати дослідження можуть бути реалізовані як виконавцями робіт з утилізації, так і відповідними органами державного нагляду у сфері техногенної та пожежної безпеки в процесі проведення експертизи утилізації боєприпасів і вибухівки під час здійснення заходів контролю, погодження нормативних та інших документів з питань утилізації.

9. Висновки

1. Розроблений поетапний технологічний процес розрядження 23 мм або 30 мм артилерійських снарядів, який забезпечує ефективну утилізацію трасуючої сполуки із корпусів. Автоматизація процесу утилізації досягається застосуванням спеціальної установки з випалювання трасуючої сполуки, яка сформована у технологічну лінію. Ініціювання загоряння трасуючої сполуки здійснюється за допомогою електромагнітного імпульсу.

Використання запропонованої установки дозволяє в заводських умовах із використанням штатного обладнання і мінімальними трудовитратами з максимальною продуктивністю, безпекою, екологічністю та економічною доцільністю здійснювати операції роздільної утилізації елементів артилерійських снарядів. Так під час використання установки орієнтована продуктивність процесу розрядження (випалювання трасуючої сполуки) із корпусів 23 мм та 30 мм артилерійських снарядів складає від 12600 до 13500 штук у зміну, що, як мінімум, у 8 разів перевищує продуктивність розрядження у бронепечі (існуюча технологія, де використовується відкрите полум'я). Одночасно може випалюватись – 4 од., час горіння – до 9 с.

2. Проведено формалізацію задачі оцінювання ефективності процесу утилізації, що дозволило оптимізувати рішення щодо управління таким процесом. Для формалізації застосовано метод динамічного програмування. Для оцінювання процес утилізації представлений у вигляді операції, яка складається з 12 етапів. Ефективність операції характеризується показником ефективності з урахуванням оптимального управління на 6-му найбільш небезпечному етапі, де відбувається випалювання трасуючої сполуки.

3. Запропонований порядок розв'язання задачі оптимізації процесу управління утилізацією артилерійських снарядів для багатоетапної технологічної операції. Задача зведена до вибору раціонального рішення з дотриманням принципу оптимальності, що є основою рішення задач динамічного програмування. Розв'язання задачі динамічного програмування процесу утилізації артилерійських снарядів надано у загальному вигляді.

Результати дослідження можуть бути реалізовані як виконавцями робіт з утилізації, так і відповідними органами державного нагляду у сфері техногенної та пожежної безпеки 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. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Washington, DC: The National Academies Press. 2019. 132 p. URL: <https://www.nap.edu/read/25140/chapter/1>
2. Danssaert Peter, Wood Brian. Surplus and Illegal Small Arms, Light Weapons and their Ammunition: the consequences of failing to dispose and safely destroy them. 2020. 20 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/341767347_Surplus_and_Illegal_Small_Arms_Light_Weapons_and_their_Ammunition_the_consequences_of_failing_to_dispose_and_safely_destroy_them
3. Dynamic Disposal. An Introduction to Mobile and Transportable Industrial Ammunition Demilitarization Equipment. RASR Issue Brief. 2013. № 3. P. 1–16. URL: <https://www.smallarmssurvey.org/sites/default/files/resources/SAS-RASR-IB3-Dynamic-Disposal.pdf>
4. International ammunition technical guideline. IATG 10.10:2021 [E]. Demilitarization, destruction and logistic disposal of conventional ammunition. UNODA. 2021. 40 p. URL: <https://data.unsafeguard.org/iatg/en/IATG-10.10-Demilitarization-destruction-logistic-disposal-IATG-V.3.pdf>
5. Неклонський І. М., Смирнов О. М. Модель процесу утилізації 100 мм артилерійських пострілів УБК10 з 9М117. Проблеми надзвичайних ситуацій. 2022. № 1(35). С. 228–238. doi: <https://doi.org/10.52363/2524-0226-2022-35-17>
6. Moura Scott. Chapter 5: dynamic programming. Systems Analysis. 2014. 14 p. URL: <https://ecal.berkeley.edu/files/ce191/CH05-DynamicProgramming.pdf>
7. Soltys Michael. An Introduction to the Analysis of Algorithms, 3rd Edition. World Scientific. 2018. P. 71–93. doi: https://doi.org/10.1142/9789813235915_0004
8. William D. Sudderth. Finitely Additive Dynamic Programming. Mathematics of Operations Research. 2016. Vol. 41. № 1. P. 92–108. URL: <https://www.jstor.org/stable/24736308>
9. Coccia Mario. Critical Decisions in Crisis Management: Rational Strategies of Decision Making (July 14,). Journal of Economics Library. 2020. Vol. 7. № 2. P. 81–96. URL: <https://ssrn.com/abstract=3651245>
10. GPSS – Simulation made simple. <http://agpss.com> (дата звернення: 30.10.2022).

I. Neklonskyi, PhD, Lecturer of the Department

O. Smyrnov, Senior Lecturer of the Department

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

OPTIMIZATION OF THE TECHNOLOGY OF FIRING TRACER FROM SMALL CALIBER ARTILLERY PROJECTILE

A technological process for discharging 23 mm or 30 mm artillery shells has been developed, which ensures effective disposal of the tracer compound from the shells. Automation of the disposal process is achieved by using a special plant for burning the tracer compound, which is formed into a technological line. Ignition of a combustible substance is initiated using an electromagnetic pulse. The economic feasibility of the proposed technology is due to minimal labor costs, maximum productivity, appropriate level of safety and environmental friendliness. The task of evaluating the efficiency of the disposal process has been formalized. This made it possible to optimize decisions regarding the management of such a process. The formalized model is an additive problem of dynamic programming. The parameterization of the conditions of the problem comes down to the fact that during the planning of a

multi-stage technological operation, it is necessary to choose management at each stage taking into account all consequences at future stages. The proposed procedure for solving the problem of optimizing the process of managing the disposal of artillery shells for a multi-stage technological operation. The solution involves the choice of a rational solution in compliance with the principle of optimality. The solution to the problem of dynamic programming of the process of disposal of artillery shells is given in a general form. Research is due to the need to justify effective organizational decisions regarding the improvement of the technological policy of ammunition disposal. The results of the research can be implemented by the executors of disposal works. They can be used by state supervision bodies in the field of man-made and fire safety to carry out examination of disposal of ammunition and explosives.

Keywords: utilization technology, artillery projectiles, tracer compound burning, dynamic programming, optimization

References

1. Alternatives for the Demilitarization of Conventional Munitions. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2019). Washington, DC: The National Academies Press. Available at: <https://www.nap.edu/read/25140/chapter/1>
2. Danssaert, Peter, Wood, Brian. (2020). Surplus and Illegal Small Arms, Light Weapons and their Ammunition: the consequences of failing to dispose and safely destroy them. IANSA and IPIS. Available at: https://www.researchgate.net/publication/341767347_Surplus_and_Illegal_Small_Arms_Light_Weapons_and_their_Ammunition_the_consequences_of_failing_to_dispose_and_safely_destroy_them
3. Dynamic, Disposal. An Introduction to Mobile and Transportable Industrial Ammunition Demilitarization Equipment. (2013). RASR Issue Brief, 3, 1–16. Available at: <https://www.smallarmssurvey.org/sites/default/files/resources/SAS-RASR-IB3-Dynamic-Disposal.pdf>
4. International ammunition technical guideline. IATG 10.10:2021 [E]. Demilitarization, destruction and logistic disposal of conventional ammunition. (2021). UNODA. Available at: <https://data.unsafeguard.org/iatg/en/IATG-10.10-Demilitarization-destruction-logistic-disposal-IATG-V.3.pdf>
5. Neklonskyi, I. M., Smirnov, O. M. (2022). Model of the disposal process of 100 mm UBK10 artillery rounds from 9M117. Problems of emergency situations, 1(35), 228–238, doi: <https://doi.org/10.52363/2524-0226-2022-35-17>
6. Moura, Scott. (2014). Chapter 5: dynamic programming. Systems Analysis. Available at: <https://ecal.berkeley.edu/files/ce191/CH05-DynamicProgramming.pdf>
7. Soltys, Michael. (2018) An Introduction to the Analysis of Algorithms, 3rd Edition. World Scientific. doi: https://doi.org/10.1142/9789813235915_0004
8. Sudderth, William, D. (2016). Finitely Additive Dynamic Programming. Mathematics of Operations Research, 41, 1, 92–108. Available at: <https://www.jstor.org/stable/24736308>
9. Coccia, Mario. (2020). Critical Decisions in Crisis Management: Rational Strategies of Decision Making (July 14,). Journal of Economics Library, 7, 2, 81–96. Available at: <https://ssrn.com/abstract=3651245>
10. GPSS – Simulation made simple. Available at: <http://agpss.com/>

Надійшла до редколегії: 20.10.2022

Прийнята до друку: 17.11.2022