УДК 623.48:658.512.624:614.833:519.872

***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

МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ УТИЛІЗАЦІЇ 100 ММ АРТИЛЕРІЙСЬКИХ ПОСТРІЛІВ УБК10

Розроблена технологія розряджання пострілів способом їх розбирання на елементи, яка дозволяє раціонально вилучати всі необхідні матеріали. Технологія утилізації представляє собою процес паралельного (одночасного) виконання окремих операцій. Проведено формалізацію процесу утилізації у багатоканальну систему масового обслуговування з обмеженою чергою. Це дозволило із застосуванням методів дослідження операцій провести математичний опис відповідної системи масового обслуговування та визначити показники її ефективності: ймовірності відмови та виникнення черги; відносну пропускну здатність системи; абсолютну пропускну здатність системи; середню кількість занятих каналів; середню кількість заявок (виробів), що знаходяться в черзі; середній час очікування в черзі; середню кількість заявок (виробів) в системі; середній час перебування заявок (виробів) в системі. Дослідження обумовлені необхідністю обґрунтування ефективних організаційних рішень щодо удосконалення технологічної політики утилізації боєприпасів. Результати досліджень дають можливість встановити перелік і послідовність операцій, норми часу на розбирання одного виробу, перелік та кількість матеріалів, які вилучаються з елементів боєприпасів. Дозволяють пов'язати задані умови технологічного процесу, формалізованого в багатоканальну систему масового обслуговування, з характеристиками, які показують ефективність організації робіт. Застосування запропонованого математичного апарату актуально для опису технологій утилізації інших ракет і боєприпасів за умови, якщо процес утилізації є паралельним і його можна представити як багатоканальну систему масового обслуговування з обмеженою чергою. Результати дослідження можуть бути реалізовані під час розроблення ефективного механізму утилізації ракет і боєприпасів, а також під час експертизи, ідентифікації небезпек і підвищення рівня безпеки відповідних процесів.

Ключові слова: утилізація, артилерійські постріли, формалізація, багатоканальна система, інтенсивність потоку подій

1. Вступ

З урахуванням тісної співпраці у військовій сфері з країнами НАТО та ЄС [1] в Україні змінюються підходи до процесу утилізації ракет і боєприпасів. Безпосередньому процесу утилізації звичайних видів боєприпасів мають передувати наукові дослідження з усіх аспектів цієї проблеми і значна організаційна робота. Так, в розвинутих країнах напрацьовані основоположні правові документи, концепції, стратегії, методології тощо [2–4].

З урахуванням цього, для розроблення ефективних організаційних процедур утилізації боєприпасів вирішальне значення набувають відповідні методологічні аспекти їх проведення.

В Україні на арсеналах, базах та складах зараз зберігаються 100 мм артилерійські постріли УБК10 з протитанковими керованими реактивними снарядами (ПТКРС) 9М117 (рис. 1) із закінченим гарантійний терміном зберігання, що потребують негайної утилізації. Забезпечення високого рівня техногенної та екологічної безпеки під час утилізації артилерійських пострілів є однією з головних проблем у діяльності національної системи утилізації.

На сьогоднішній день існуючі технології не задовольняють постійно зростаючих вимог до ефективності і безпеки відповідних процедур.

© І.М. Неклонський, О.М. Смирнов

Рис. 1. 100 мм постріл 3УБК10 зрз. 1981 р. «Кастет», вагою 25 кг з ракетою 9М117

Так, до теперішнього часу знищення переважної більшості технічно непридатних 100 мм артилерійських пострілів УБК10 проводиться методом їх підриву на підривних майданчиках або часткового розбирання, а потім підриву.

В даний час практично немає універсальної процедури розрядження пострілів, яка б дозволяла не тільки раціонально вилучати всі необхідні матеріали, а й оцінювати ефективність організації робіт, так як це впливає на рівень техногенної та екологічної безпеки.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Певні організаційні процедури щодо утилізації боєприпасів розглянуті в роботі [5], в якій викладений метод утилізації боєприпасів, що включає такі основні елементи: прийняття децентралізованого контролю в поєднанні з концентрованим виробництвом; застосування технологій, що відповідають вимогам охорони навколишнього середовища; прийняття технологічних процесів, які відповідають даним технологіям тощо. Також, автори акцентують увагу на доцільності використання матеріалів, що отримані в результаті утилізації. Разом з тим, питання оцінювання ефективності організації робіт під час реалізації відповідних технологій утилізації в роботі не розглядаються.

Розгляду науково-методичних аспектів розроблення ефективних організаційних процедур під час впровадження нових технологій утилізації ракет і боєприпасів присвячена робота [6], яка завершує певний цикл робіт у відповідній сфері. В роботі проведено формалізацію процесу утилізації у одноканальну систему масового обслуговування з обмеженою чергою. Це дає можливість описати будь-яку технологію утилізації, яка представляє собою процес послідовного виконання окремих операцій. Але в роботі залишились не розглянутими питання щодо опису процесу утилізації, якщо він представляє собою послідовність операцій, які можуть проходити паралельно (одночасно).

Варіантом вирішення питання може бути формалізація відповідного процесу в багатоканальну систему масового обслуговування з характеристиками, які будуть важливими для організатора робіт. Саме такий підхід використаний в роботі [7], в якій співвідношення, що об’єднують основні параметри та вихідні характеристики зазначеної системи, представлені як ймовірність перебування системи в даний час в одному з можливих станів. Однак, запропонована модель є найбільш узагальненою. Як показує досвід наукових досліджень, під час аналізу та синтезу таких складних технічних систем як системи передачі даних, системи стільникового зв’язку, комп’ютерні та комунікаційні мережі, гнучкі виробничі лінії, автоматизовані системи управління, як правило, застосовують окремі випадки цієї моделі.

Такий підхід дозволяє успішно розробляти складні технічні системи з урахуванням їх особливостей, наприклад, система управління чергами Q-net Pro [8]. Використання запропонованої моделі не дає можливість пов’язати задані умови технологічного процесу з характеристиками, які будуть важливими для ефектив-

ної і безпечної організації робіт під час утилізації пострілів, а саме: описувати послідовність певних операцій, які можуть проходити паралельно (одночасно). Для отримання відповідних характеристик та опису їх зв'язку з умовами технологічного процесу доцільно розробити окремий випадок моделі [7].

У роботі [9] для визначення показників функціонування системи обслуговування контейнерного терміналу в якості оперативного методу дослідження запропоновано метод оснований на теорії масового обслуговування (тривалість очікування і довжина черг). Застосовуючи відповідний метод можуть бути визначені фази обслуговування (період часу протягом якого обслуговується певна підсистема (функціональний блок)), так звані «вузькі місця» в обслуговуванні, а також місця, де знаходяться надлишки потужностей. Основний висновок роботи полягає в тому, що оцінювання ефективності роботи системи здійснюється за показником пропускної здатності підсистеми, яка має найменшу потужність. При чому, в основу вихідних даних досліджень лягають запроектовані потужності роботи системи та статистичні дані реальної роботи. Такий підхід дає можливість вирахувати тільки вузькі місця в роботі з точки зору пропускної здатності системи, але не дозволяє вводити та оперувати певним набором характеристик, які можуть впливати на ефективність роботи.

Крім того, результати контент-аналізу, що наведений в роботі [10], дають підстави стверджувати, що акцент уваги наукових досліджень із застосуванням теорії масового обслуговування зводиться до моделювання, у тому числі із застосуванням IT-інструментів, що дозволяє аналізувати стійкість і зменшувати ризики збоїв у роботі насамперед логістичної схеми постачання, а не технологічної схеми виробництва.

Таким чином, проведений аналіз результатів попередніх досліджень дає підстави стверджувати, що для вирішення проблемної ситуації щодо утилізації 100 мм артилерійських пострілів УБК10 доцільним є проведення дослідження, присвяченого опису процесу утилізації артилерійських пострілів як багатоканальної системи масового обслуговування з характеристиками, які будуть важливими для ефективної і безпечної організації робіт.

3. Мета та завдання дослідження

Метою роботи є розроблення високоефективної технології утилізації артилерійських пострілів та обґрунтування ефективних організаційних рішень щодо впровадження відповідної технології.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

− розробити технологію утилізації артилерійських пострілів УБК10, яка б дозволяла раціонально і безпечно вилучати всі елементи й давала можливість використовувати ці елементи в нових цілях;

− розробити математичну модель процесу утилізації, математичний апарат якої дозволить 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.

4. Розроблення технології утилізації артилерійських пострілів

Методи дослідження, що були застосовані, визначаються сукупністю вирішуваних завдань і включають методи узагальнення й порівняння, аналізу і синтезу, які використані для розроблення технології утилізації артилерійських постріл-

© І.М. Неклонський, О.М. Смирнов

лів для побудови моделі процесу утилізації; методи дослідження операцій, теорії масового обслуговування, які використані під час розроблення аналітичних залежностей для визначення характеристик ефективності розробленої моделі.

Типова схема технологічного процесу утилізації артилерійських пострілів представлена на рис. 2.

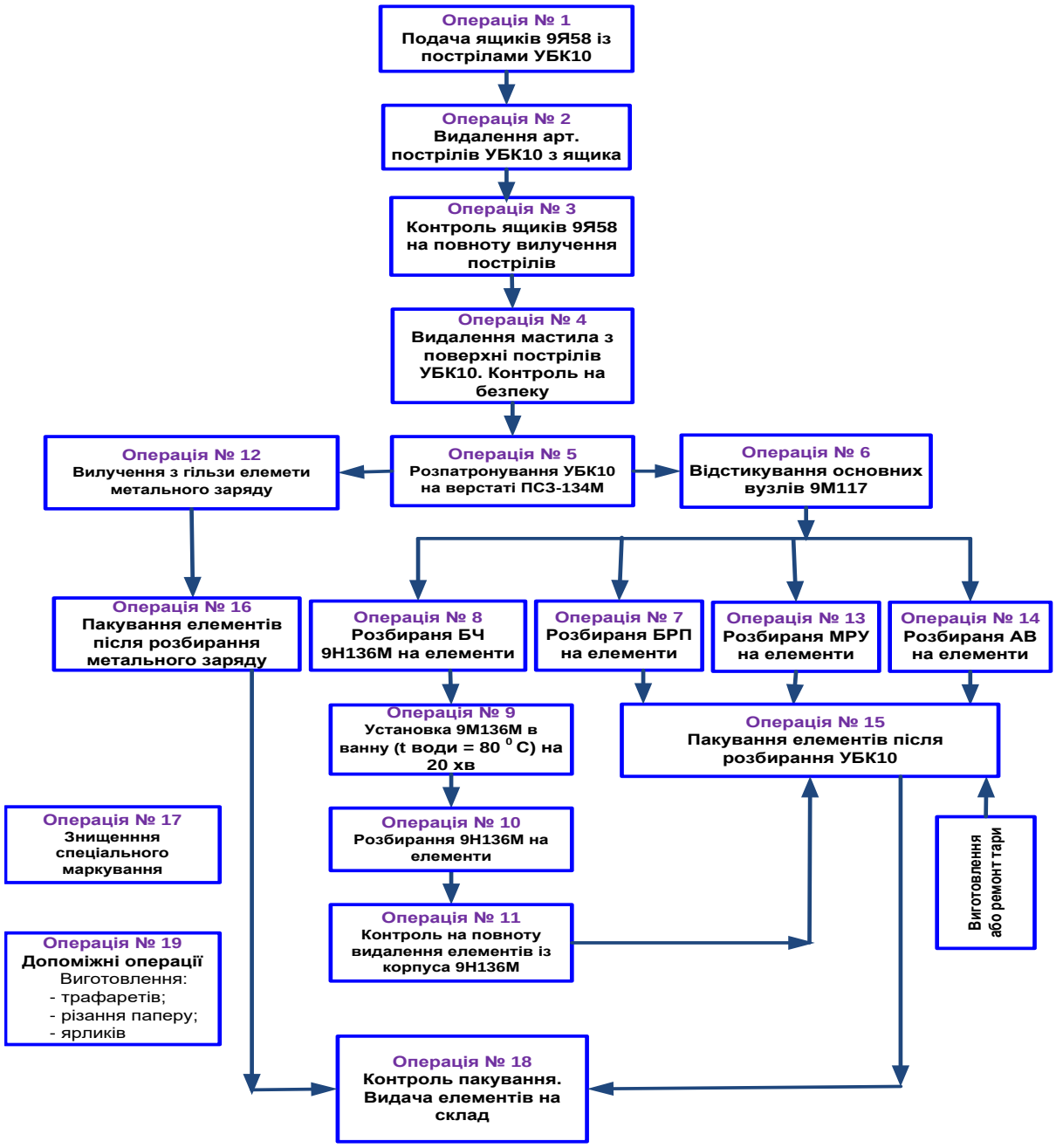

Рис. 2. Послідовність операцій з утилізації 100 мм пострілів

Практика показала, що максимальна економічна ефективність програм утилізації ракет і 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 огляду на це пропонується технологія розряджання артилерійських пострілів УБК10 способом розбирання на спеціалізованому підприємстві. З економічної точки зору артилерійські постріли недоцільно утилізувати способами підриву.

Пропонується розряджання УБК10 за допомогою їх розбирання на елементи, використовуючи спеціальне обладнання та інструмент.

Аналіз технологічного процесу представленого на рис. 2 показує що, утилізація 100 мм пострілів способом розбирання на елементи представляє собою процес паралельного виконання відповідних операцій.

5. Моделювання процесу утилізації артилерійських пострілів

Рішення щодо впровадження відповідної технології будуть ефективними, якщо в процесі здійснення операцій (рис. 2) не допускається перевантаження окремих ділянок вибухонебезпечними предметами. Таким чином, виникає задача визначення ефективності (оптимізації) відповідного процесу утилізації, який представляє собою паралельне виконання окремих операцій. Така задача може бути вирішена з використанням методів дослідження операцій [11].

Процес утилізації можна представити у вигляді системи масового обслуговування, моделювання якої доцільно здійснювати з використанням ідей висвітлених у роботах [12, 13].

Формалізацію процесу доцільно провести з урахуванням [6] із зауваженням, що процес утилізації можна описати системою виконання окремих операцій, які виконуються паралельно (n-канальна система масового обслуговування).

Розглянемо n-канальну систему масового обслуговування з очікуванням, до якої надходить найпростіший потік заявок з інтенсивністю λ. Інтенсивність обслуговування μ – тобто в середньому безперервно зайнятий канал видаватиме $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$ обслужених заявок на одиницю часу.

Тривалість обслуговування – випадкова величина, підпорядкована показовому закону розподілу. Потік обслуговування є найпростішим пуассонівським потоком подій. Заявка, що надійшла в момент, коли всі канали зайняті, стає в чергу і чекає обслуговування.

Припустимо, кількість місць у черзі обмежена кількістю m, тобто, якщо заявка прийшла в момент, коли в черзі вже стоять m-заявок, вона залишає систему не обслуженою.

Розмічений граф станів представлений на рис. 3.

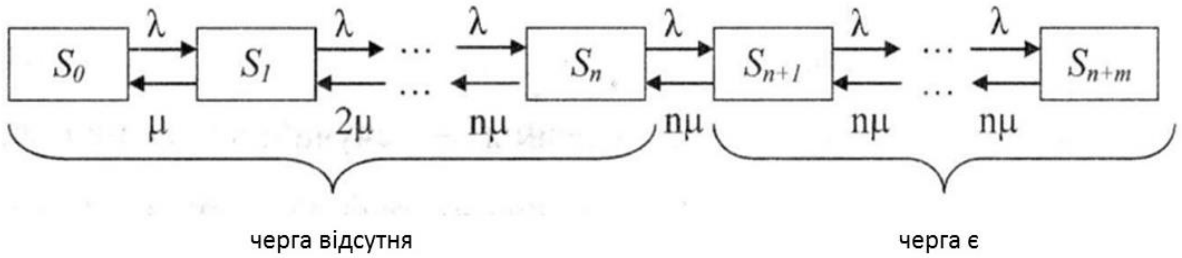

Рис. 3. Багатоканальна система масового обслуговування з обмеженою чергою: S_0 – усі канали вільні; S_1 – зайнятий тільки один канал; S_n – зайняті всі *n* каналів; S_{n+1} – зайняті всі *n* каналів, одна заявка в черзі; S_{n+m} – зайняті всі *n* каналів і всі *m* місць в черзі

Користуючись графом (рис. 3) алгебраїчне рівняння для фінальних ймовірностей буде мати вигляд:

© І.М. Неклонський, О.М. Смирнов

$$p_0 = \left(1 + \frac{\rho}{1!} + \frac{\rho^2}{2!} + \ldots + \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^{n+1}}{n \cdot n!} + \frac{1 - \left(\frac{\rho}{n}\right)^m}{1 - \frac{\rho}{n}} \right)^{-1}, \quad (1)$$

$$p_1 = \rho \cdot p_0, \; p_2 = p_0 \cdot \frac{\rho^2}{2!}, \ldots, \; p_n = p_0 \cdot \frac{\rho^n}{n!};$$

$$p_{n+1} = p_0 \cdot \frac{\rho^{n+1}}{n \cdot n!}, p_{n+2} = p_0 \cdot \frac{\rho^{n+2}}{n^2 \cdot n!}, \ldots, p_{n+m} = p_0 \cdot \frac{\rho^{n+m}}{n^m \cdot n!},$$

де $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$ – приведена інтенсивність потоку заявок (середня кількість заявок, що поступають за середній час обслуговування однієї заявки). Тоді, ймовірність відмови буде визначатись:

$$p_{відм.} = p_{n+m} = p_0 \cdot \frac{\rho^{n+m}}{n^m \cdot n!}. \quad (2)$$

Ймовірність виникнення черги буде визначатись:

$$p_{черг.} = \sum_{i=0}^{m-1} p_{n+i} = p_0 \cdot \frac{\rho^n}{n!} \cdot \frac{1 - \left(\frac{\rho}{n}\right)^m}{1 - \frac{\rho}{n}}. \quad (3)$$

Відносна пропускна здатність системи:

$$Q = 1 - p_{відм.}. \quad (4)$$

Абсолютна пропускна здатність системи:

$$A = \lambda \cdot Q, \quad (5)$$

де λ – інтенсивність потоку подій.

Середнє число занятих каналів:

$$k_{зан.} = \frac{A}{\mu} = p \cdot Q, \quad (6)$$

де μ – інтенсивність потоку обслуговування.

Середня кількість заявок, що знаходяться в черзі:

$$L_{черг.} = \frac{\rho^{n+1}}{n \cdot n!} \cdot \frac{1 - \left(\frac{\rho}{n}\right)^m \cdot \left(m + 1 - \frac{m}{n} \cdot \rho\right)}{\left(1 - \frac{\rho}{n}\right)^2} \cdot p_0. \quad (7)$$

Середній час очікування в черзі:

$$T_{очік.} = \frac{L_{черг.}}{\lambda}. \quad (8)$$

Середня кількість заявок в системі:

$$L_{сист.} = L_{черг.} + k_{зан.}. \quad (9)$$

Середній час перебування заявок в системі:

$$T_{сист.} = \frac{L_{сист.}}{\lambda}. \quad (10)$$

Таким чином, визначені показники доцільно вважати показниками ефективності багатоканальної системи з обмеженою довжиною черги.

Апробацію аналітичної моделі проведено за допомогою імітаційного моделювання у середовищі GPSS World [14, 15]. Отримані графічні залежності та числові дані показали, що для великих значень часу моделювання результати імітаційного моделювання у всіх випадках збігаються з відповідними стаціонарними значеннями, отриманими аналітичним методом.

Результати моделювання для різних розподілів інтервалу надходження виробів і часу обслуговування відрізняються між собою, хоч зі зростанням модельного часу відбувається їхнє зближення. Час обслуговування задавався відповідно до «Типичных норм времени на разборку изделий» (1989 р.), розроблених нормативно-дослідним відділом заводу-виробника.

6. Обговорення результатів моделювання процесу утилізації артилерійських пострілів

Отримані результати є спробою удосконалити національну систему утилізації боєприпасів шляхом впровадження нової технологій утилізації артилерійських пострілів та обґрунтування ефективних організаційних рішень щодо впровадження відповідної технології.

З точки зору теорії масового обслуговування рішення особи, яка організовує роботи з утилізації, мають базуватись на результатах дослідження характеристик системи масового обслуговування (показників ефективності), що описують її здатність справлятись з потоком заявок. В якості таких показників (в залежності від завдань, що ставляться) можуть застосовуватись різні величини: середня кількість заявок в системі; середній час перебування заявки в системі; середня кількість заявок у черзі; середній час перебування заявки в черзі; ймовірність того, що канал зайнятий (ступінь завантаження). Серед заданих умов роботи системи елементами рішення можуть бути: кількість каналів обслуговування, їх продуктивність, режим роботи та ін. У прямій постановці вирішується пряма задача, але в залежності від того, які саме параметри потрібно вибирати або змінювати може ставитись і зворотня задача. Оптимізація даної системи може здійснюватись з точки зору продуктивності робіт і, обов'язково, з точки зору безпеки.

З урахуванням вище викладеного типова задача, яка має бути розв'язана з використанням запропонованого математичного апарату може бути наступною. Багатоканальна система масового обслуговування представляє собою спеціалізо-

© І.М. Неклонський, О.М. Смирнов

ваний цех з утилізації, до якого надходить найпростіший потік виробів з інтенсивністю λ (задається в залежності від прийнятих умов організації робіт). Розбирання виробу на елементи триває випадковий (показовий) час з середнім значенням $t_{розб.}$ (задається з урахуванням «Типичных норм времени на разборку изделий»). В цеху є N майданчиків (як правило, один – два), де вироби, які прибули, можуть очікувати на розбирання. Якщо майданчики зайняті, вироби, які прибули, мають очікувати своєї черги у місцях тимчасового зберігання. Для стаціонарного режиму роботи цеху необхідно визначити: ймовірність відмови ($p_{відм.}$); ймовірність виникнення черги ($p_{черг.}$); відносна пропускна здатність системи (Q); абсолютна пропускна здатність системи (A), середнє число занятих каналів ($k_{зан.}$); середня кількість заявок, що знаходяться в черзі ($L_{черг.}$); середній час очікування в черзі ($T_{очік.}$); середня кількість заявок в системі ($L_{сист.}$); середній час перебування заявок в системі ($T_{сист.}$).

Крім того, даний математичний апарат дозволяє визначити середню кількість виробів, що очікують своєї черги у місцях тимчасового зберігання, і середній час такого очікування. Задавши середню вартість утримання виробів або ризик від їх находження, можна визначити доцільність організації робіт за прийнятою схемою. Окремо необхідно зауважити, що розроблення математичної моделі проведено з урахуванням окремих припущень та обмежень, введення яких обумовлено, перш за все, застосуванням методу Марківського аналізування, а саме: припущення щодо постійних ймовірностей змінення стану, що усі події статистично незалежні; необхідність чіткого розуміння можливих переходів стану, знання операцій з матрицями тощо.

Апробація моделі здійснена шляхом порівняння відповідних стаціонарних значень, отриманих аналітичним методом, з результатами імітаційного моделювання за допомогою інструментальних засобів GPSS World. Разом з тим, апробацію в натуральних (лабораторних) умовах та впровадження результатів дослідження доцільно провести на виробничих майданчиках. Наприклад, Державного науково-дослідного інституту хімічних продуктів (м. Шостка), Державного підприємства «Науково-виробниче об'єднання «Павлоградський хімічний завод» або діючого арсеналу зберігання ракет та боєприпасів.

Результати дослідження можуть бути реалізовані відповідними органами ДСНС в процесі проведення експертизи утилізації боєприпасів і вибухівки під час здійснення заходів контролю, погодження нормативних та інших документів з питань утилізації.

7. Висновки

1. Розроблено технологію утилізації артилерійських пострілів УБК10 з 9М117 способом їх розбирання на елементи, яка дозволяє раціонально вилучати усі необхідні матеріали. Норма часу на розбирання одного виробу, складають 359 чол/год. В порівнянні з технологією утилізації методом підриву дана технологія дозволяє отримати окремі елементи та матеріали. Кількість металобрухту під час розбирання 1000 одиниць складає 18,25 т сталі та 0,74 т міді. Економічна ефективність запропонованої технології може бути доведена після моніторингу вартості матеріалів на ринках вторинної сировини.

2. Розроблено математичну модель процесу утилізації, математичний апарат, якої дозволяє пов'язати задані умови технологічного процесу, формалізованого в багатоканальну систему масового обслуговування з показниками ефективності роботи відповідної системи, що описують її здатність справлятись з потоком заявок. Застосування показників ефективності в якості характеристик роботи системи дає можливість обґрунтувати ефективність організаційних рішень щодо впровадження відповідної технології утилізації. Розроблення математичної моделі проведено з урахуванням окремих припущень та обмежень, введення яких обумовлено застосуванням методу Марківського аналізування. Застосовані припущення щодо постійних ймовірностей змінення стану, що усі події статистично незалежні; необхідність чіткого розуміння можливих переходів стану, знання операцій з матрицями тощо. Застосування запропонованого математичного апарату актуально для опису технологій утилізації інших ракет і боєприпасів за умови, якщо процес утилізації є паралельним і його можна представити як багатоканальну систему масового обслуговування з обмеженою чергою.

Література

1. Claire Mills. Military assistance to Ukraine 2014–2021. Research Briefing Number 7135 4 March 2022. London. House of Commons Library. 2022. 12 p. URL: https://researchbriefings.files.parliament.uk/documents/SN0713/SN07135.pdf Alternatives for the Demilitarization of Conventional Munitions. The National Academies Press. Washington. 2019. 132 p. URL: https://www.nap.edu/read/25140/chapter/1

2. 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

3. International ammunition technical guideline IATG 10.10:2015 [E]. Demilitarization and destruction of conventional ammunition. UN ODA. 2015. 40 p.

4. Liu H., Wang Y., Zhu H. The technology method research of scrap ammunition destruction. 3rd International Conference on Mechanical Engineering and Intelligent Systems (ICMEIS 2015). Atlantis Press. 2015. P. 201–205. doi: 10.2991/icmeis-15.2015.39

5. Неклонський І. М., Смирнов О. М. Математична модель процесу утилізації тактичних ракет 9М21. Проблеми надзвичайних ситуацій. 2020. Вип. 1(31). С. 211–225. URL: http://pes.nuczu.edu.ua/images/arhiv/31/15.pdf

6. Shamugia R. On One Model of Multichannel Queuing System with Unreliable Repairable Servers and Input Memory. International Journal of Communications, Network and System Sciences. 2014. № 7. P. 279–285. doi: 10.4236/ijcns.2014.78030

7. Queue management systems: https://q-net.com/en/

8. Karla Babeli, Svjetlana Hess, Mirano Hess. Capacity utilization of the container terminal as multiphase service system. European Transport / Trasporti Europei. 2022. № 86. Ст. 4. 15 с. doi: 10.48295/ET.2022.86.4

9. Katsaliaki K., Galetsi P., Kumar S. Supply chain disruptions and resilience: a major review and future research agenda. Annals of Operations Research. 2021. 38 с. doi: 10.1007/s10479-020-03912-1

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

© І.М. Неклонський, О.М. Смирнов

11. Janos Sztrik. Basic Queueing Theory. Foundations of System Performance Modeling. Riga: GlobeEdit. 2016. 200 p.

12. Ekeocha Rowland, Ihebom Ikechi. The Use of Queuing Theory in the Management of Traffic Intensity. International Journal of Sciences. 2018. № 4. P. 56–63. doi: 10.18483/ijSci.1583

13. Zhernovyi Yuriy. Creating Models of Queueing Systems Using GPSS World. Lambert Academic Publishing. 2015. 220 p.

14. GPSS world. URL: http://www.minutemansoftware.com/simulation.htm (дата звернення: 20.02.2022).

I. Neklonskyi, *PhD, Lecturer of the Department*
O. Smyrnov, *Senior Lecturer of the Department*
National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

MODEL OF THE PROCESS OF DISPOSAL OF 100 mm ARTILERY SHOTS UBK10

The technology of discharging shots by the method of their disassembly into elements has been developed, which allows to rationally remove all necessary materials. Disposal technology is a process of parallel (simultaneous) execution of individual operations. The formalization of the disposal process into a multi-channel queuing system with a limited queue has been carried out. This allowed the use of operations research methods to conduct a mathematical description of the relevant queuing system and determine indicators of its effectiveness: the probability of failure and queuing; relative system bandwidth; absolute bandwidth of the system; average number of occupied channels; the average number of applications (products) in the queue; average waiting time in the queue; the average number of applications (products) in the system; the average residence time of applications (products) in the system. The research is conditioned by the need to substantiate effective organizational decisions on improving the technological policy of ammunition disposal. The research results make it possible to establish the list and sequence of operations, the time norms for disassembly of the overall product, the list and amount of materials that are removed from the elements of ammunition. Allow to connect the set conditions of the technological process, formalized in a multi-channel queuing system, with the characteristics that show the effectiveness of the organization of work. The use of the proposed mathematical apparatus is relevant to describe the technology of disposal of other missiles and ammunition, provided that the disposal process is parallel, and it can be represented as a multi-channel queuing system with a limited queue. The results of the study can be implemented during the development of an effective mechanism for the disposal of missiles and ammunition, as well as during the examination, hazard identification and increase the level of safety of relevant processes.

Keywords: utilization, artillery shots, formalization, multi-channel system, intensity of flow of events

References

1. Claire, Mills. (2022). Military assistance to Ukraine 2014–2021. Research Briefing Number 7135, 4 March 2022. London. House of Commons Library. URL: https://researchbriefings.files.parliament.uk/documents/SN0713/SN07135.pdf

2. Alternatives for the Demilitarization of Conventional Munitions. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2019). Washington, DC: The National Academies Press. URL: https://www.nap.edu/read/25140/chapter/1

3. Dynamic, Disposal. An Introduction to Mobile and Transportable Industrial Ammunition Demilitarization Equipment. (2013). RASR Issue Brief, 3, 1–16. URL: https://www.smallarmssurvey.org/sites/default/files/resources/SAS-RASR-IB3-Dynamic-Disposal.pdf

4. International ammunition technical guideline IATG 10.10:2015 [E]. Demilitarization and destruction of conventional ammunition. (2015). UN ODA.

5. Liu, H., Wang, Y., Zhu, H. (2015). The technology method research of scrap ammunition destruction, 3rd International Conference on Mechanical Engineering and Intelligent Systems (ICMEIS 2015). Atlantis Press, 201–205. doi: 10.2991/icmeis-15.2015.39

6. Neklonskyi, I., Smyrnov, O. (2020). Mathematical model of the process of utilization of 9M21 tactical missiles. Problems of Emergency Situations, 25, 211–225. URL: http://pes.nuczu.edu.ua/images/arhiv/31/15.pdf

7. Shamugia, R. (2014). On One Model of Multichannel Queuing System with Unreliable Repairable Servers and Input Memory. International Journal of Communications, Network and System Sciences, 7, 279–285. doi: 10.4236/ijcns.2014.78030

8. Queue management systems. Retrieved from: https://q-net.com/en/

9. Babeli, K., Hess, Sv., Hess, M. (2022). Capacity utilization of the container terminal as multiphase service system. European Transport / Trasporti Europei, 86, 4. doi: 10.48295/ET.2022.86.4

10. Katsaliaki, K., Galetsi, P., Kumar, S. (2021). Supply chain disruptions and resilience: a major review and future research agenda. Annals of Operations Research. doi: 10.1007/s10479-020-03912-1

11. Pourhejazy, P., Kwon, O. K. (2016). The New Generation of Operations Research Methods in Supply Chain Optimization: A Review. Sustainability, 8(10), 23. doi: 10.3390/su8101033

12. Janos, Sztrik (2016). Basic Queueing Theory. Foundations of System Performance Modeling. Riga, DC: GlobeEdit.

13. Jerry, Okecukwu, Ekeocha, R., Ikechi Ihebom, V. (2018). The Use of Queuing Theory in the Management of Traffic Intensity. International Journal of Sciences, 4(03), 56–63. doi: 10.18483/ijsci.1583

14. Zhernovyi, Yuriy. (2015). Creating Models of Queueing Systems Using GPSS World. Lambert Academic Publishing.

15. GPSS world. URL: http://www.minutemansoftware.com/simulation.htm

Надійшла до редколегії: 18.04.2022
Прийнята до друку: 13.06.2022

© І.М. Неклонський, О.М. Смирнов