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

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ УТИЛІЗАЦІЇ ТАКТИЧНИХ РАКЕТ 9М21

Досліджені питання удосконалення національної системи утилізації ракет і боєприпасів, розглянуті методологічні аспекти щодо розроблення ефективних організаційних процедур у цій сфері. Визначено, що технологічна політика утилізації боєприпасів насамперед має забезпечити техногенну та екологічну безпеку під час організації і виконання всіх необхідних робіт. Обґрунтовано необхідність розроблення високоефективної технологій утилізації ракет 9М21 та ефективних організаційних рішень щодо впровадження відповідної технології. Для вирішення поставленого завдання застосовано системний підхід в межах якого використовувались наукові методи узагальнення й порівняння, аналізу і синтезу, дослідження операцій, теорії масового обслуговування тощо. З урахуванням необхідності впровадження нових високоефективних технологій утилізації ракет і боєприпасів розроблена технологія розряджання ракет способом їх розбирання на елементи, яка дозволяє раціонально вилучати всі необхідні матеріали. Технологія утилізації представляє собою процес послідовного виконання окремих операцій. Для обґрунтування ефективних організаційних рішень щодо впровадження відповідної технології проведено формалізацію процесу утилізації у одноканальну 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: середню кількість заявок в системі; середній час перебування заявки в системі; середню кількість заявок у черзі; середній час перебування заявки в черзі; ймовірність того, що канал зайнятий (ступінь завантаження). Запропоновано використати результати досліджень під час розроблення обґрунтованого механізму експертизи утилізації ракет і боєприпасів, ідентифікації небезпек і підвищення рівня безпеки відповідних процесів.

Ключові слова: утилізація, тактичні ракети, технологія утилізації, система масового обслуговування

1. Вступ

В Україні, за даними військових (озвучених у різний час) утилізації підлягає як мінімум 1 млн т ракет і боєприпасів. Одним з проблемних питань утилізації є те, що значна частина боєприпасів зберігається під відритим небом, а поблизу баз і арсеналів розташовані різні об’єкти селітебної території. Крім того, Україна і досі не має технологій утилізації частини номенклатури вибухонебезпечної спадщини. Це обумовлює необхідність у зміні підходів до процесу утилізації.

Удосконалення національної системи утилізації боєприпасів торкається багатьох методологічних аспектів, що мають вирішальне значення, насамперед, для розроблення ефективних організаційних процедур. У розвинутих країнах безпосередньому процесу утилізації звичайних видів боєприпасів передували наукові дослідження з усіх аспектів цієї проблеми і значна організаційна робота, в результаті чого було напрацьовано концепції, стратегії, методології, програми та основоположні правові документи [1, 2].

Однією з проблемних ситуацій у діяльності національної системи утилізації є відсутність високоефективної технологій утилізації тактичних ракет та необхідність наукового обґрунтування ефективних організаційних рішень щодо впровадження відповідної технології.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Актуальність досліджень зумовлена загостренням ситуації на об'єктах зберігання боєприпасів і вибухових речовин. Надзвичайні ситуації техногенного характеру (НС) на таких об'єктах призводять не тільки до порушення нормальних умов життя і діяльності людей на окремій території, загибелі людей та/або значних матеріальних втрат алей до суттєвих трансформаційних змін функціонування екосистеми.

В Україні зараз зберігаються тактичні ракети 9М21Ф (рис. 1) з закінченим терміном зберігання, що потребують негайної утилізації.

Рис. 1. Ракета 9М21Ф на транспортному візку (9ТР111)

В період існування Радянського Союзу оперативно-тактичний ракетний комплекс (ОТРК) «Луна-М» з некерованою балістичною тактичною ракетою (ТР) 9М21 (рис. 2) став одним з наймасовіших в своєму сегменті. На 1986 рік даних комплексів було випущено близько 750 одиниць, а ракетних частин (РЧ) 9М21 різних модифікацій близько 2000 одиниць.

Рис. 2. Самохідна пускова установка 9П113 комплексу 9К52 «Луна-М» на шасі «ЗІЛ-135ЛМ»

Враховуючи досвід утилізації озброєнь, військової техніки та боєприпасів [3] 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 тальки 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.

© І. М. Неклонський, О. М. Смирнов

Виходячи з цього, виникає необхідність впровадження нових високоефективних технологій утилізації ракет та боєприпасів, та розгляду науково-методичних аспектів розроблення ефективних організаційних процедур.

У цьому напрямку проведено декілька наукових досліджень, які є спробою удосконалити національну систему утилізації боєприпасів шляхом впровадження нової технологій утилізації разом з методологічними аспектами управління технологічним процесом.

Так в [4] розроблена технологія розрядження капсульних втулок способом імітації механічного спуску ударника гармати, яка дозволяє раціонально вилучати всі необхідні матеріали. Процес утилізації авторами представлений у вигляді системи масового обслуговування. Це дозволило сформулювати задачу оптимального розподілу працівників по робочим місцям та запропонувати методику її рішення. Разом з тим, задача визначення фінальних ймовірностей станів такої системи не ставилась. А основним критерієм ефективності такої системи є мінімізація втрати від несвоєчасного обслуговування виробів внаслідок перебування в чергах та простоїв працівників.

В [5] запропонований набір і послідовність операцій з розрядження кумулятивних та виготовлення практичних снарядів. Для забезпечення техногенної та екологічної безпеки розроблена модель управління ризиками відповідного технологічного процесу, яка враховує структурований підхід до реалізації управління ризиками та містить аналітичні залежності для кількісної оцінки прийнятих рішень щодо їх мінімізації. Авторами застосовується концепція «станів» («готовність», «відмова») і досліджується перехід між цими станами за припущення постійної ймовірності змінювання стану. Але процес утилізації представлено як систему S, яка може перебувати у трьох станах: S_0 – працездатному; S_1 – погіршеному; S_2 – в стані відмови. А для визначення значень фінальних ймовірностей станів запропоновано використовувати середній час усунення відповідної причини виникнення небажаної події. Такий підхід дає можливість оцінити ефективність прийнятих рішень з мінімізації технологічних ризиків, але не дозволяє оцінити ефективність роботи відповідної системи, показники ефективності роботи якої будуть характеризувати якість організаційних рішень щодо впровадження відповідної технології утилізації.

Таким чином, результати наукових досліджень дозволяють вирішити часткові завдання у сфері організації робочих місць, управління технологічними ризиками та технології утилізації боєприпасів окремих видів. Але проведені дослідження не дають відповідь на питання як оцінити ефективність роботи всього процесу, які показники будуть характеризувати якість організаційних рішень щодо впровадження відповідної технології утилізації.

Виходячи з цього, виникає необхідність розроблення високоефективної технологій утилізації ракет 9М21 та обґрунтування ефективних організаційних рішень щодо впровадження відповідної технології шляхом введення показників ефективності процесу утилізації. При цьому необхідно врахувати окремі ідеї, на яких акцентувалась увага у попередніх дослідженнях, а саме:

по-перше, метою досліджень є не тільки розроблення технології, яка б дозволяла раціонально і безпечно вилучати всі елементи боєприпасів, але й використовувати ці елементи в новій якості;

по-друге, динаміка застосування управлінських рішень під час утилізації боєприпасів потребує аналізу цього процесу з точки зору його структури й організації.

3. Мета та завдання дослідження

Метою роботи є розроблення високоефективної технологій утилізації ракет 9М21 та обґрунтування ефективних організаційних рішень щодо впровадження відповідної технології.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

− розробити технологію утилізації ракет 9М21, яка б дозволяла раціонально і безпечно вилучати всі елементи й використовувати ці елементи в новій якості;

− розробити математичну модель процесу утилізації, математичний апарат якої дозволить пов'язати задані умови технологічного процесу, формалізованого в систему масового обслуговування, з характеристиками, що цікавлять організатора робіт – показниками ефективності роботи відповідної системи масового обслуговування.

4. Методи дослідження процесу утилізації тактичних ракет

Методи дослідження, що були застосовані, визначаються сукупністю вирішуваних завдань і включають методи узагальнення й порівняння, аналізу і синтезу, які використані для розроблення технології утилізації ракет, для побудови моделі процесу утилізації; методи дослідження операцій, теорії масового обслуговування, які використані при розробленні аналітичних залежностей для визначення характеристик ефективності розробленої моделі.

5. Розроблення технології утилізації тактичних ракет

Розроблення технологій розряджання ракет має певну специфіку, яку слід обов'язково враховувати при проведенні робіт. Утилізація ракет 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 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 РЧ 9М21 способом розбирання у спеціалізованому цеху на арсеналі, або спеціалізованому підприємстві. З економічної точки зору РЧ 9М21 недоцільно утилізувати способами підриву. Пропонується розряджання РЧ 9М21 за допомогою їх розбирання на елементи використовуючи спеціальне обладнання та інструмент.

Типова схема технологічного процесу утилізації тактичних ракет представлена на рис. 3. Роботи з утилізації РЧ 9М21 шляхом їх розбирання на елементи за допомогою спеціального обладнання доцільно виконувати в послідовності, що представлена у табл. 1.

Під час розряджання РЧ 9М21 будуть отримані матеріали, перелік яких наведений у табл. 2.

© І. М. Неклонський, О. М. Смирнов

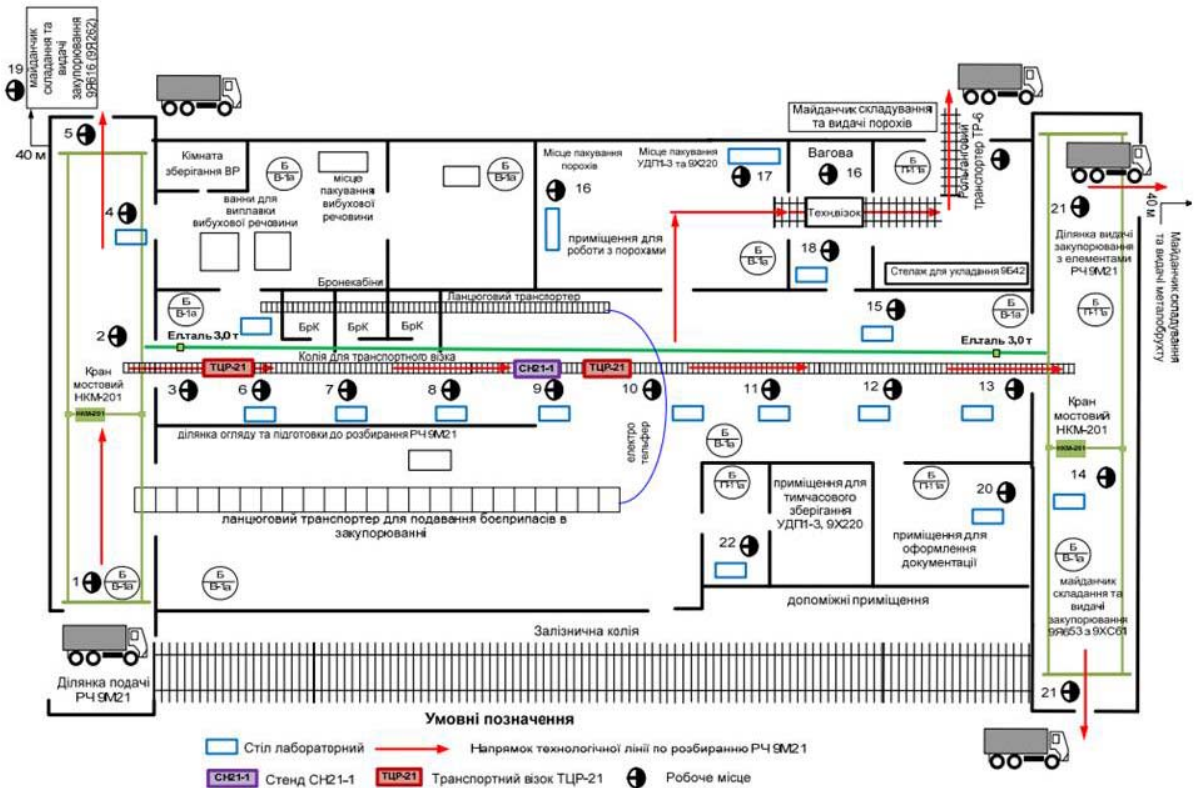

Рис. 3. Типова схема технологічного процесу утилізації тактичних ракет

Табл.1. Перелік операцій під час розбирання РЧ 9М21

Операція	Зміст операції
1	2
№ 1	Подача РЧ 9М21 в закупорюванні 9Я616 (9Я262) зі сховища в приміщення обігріву цеху: РЧ 9М21 на майданчику цеха, за допомогою траверси 9Т53.03.000 і електроталі (3,0 т), перевантажуються з автомобіля на транспортний візок ТЦР-21 і завозяться у цех
№ 2	Вхідний контроль РЧ 9М21 й закупорювання 9Я616 (9Я262): перевірити укладання і кріплення РЧ 9М21 в закупорюванні згідно схеми укладання; перевірити наявність пломб на стяжках закупорювання (4 шт.), на шухляді ЗІП (1 шт); на кришці 04.014 (1 шт), на люку № 1 (2 шт), на люку № 2 (2 шт), на люку № 3 (2 шт); перевірити відсутність механічних пошкоджень зовнішніх поверхонь РЧ 9М21, штиря, кожуха, стрічок; розкрити шухляду № 2, що закріплена на закупорюванні 9Я616 (9Я262), вийняти паспорт на РЧ 9М21, перевірити відповідність марку-вання паспортним данним й схемі маркування
№ 3	Розкупорювання і подача до місця розбирання РЧ 9М21: по маркуванню на корпусі РЧ 9М21 і закупорюванні 9Я616 (9Я262) перевірити відповідність партії корпуса зазначеної керівником робіт, розгальмувати стенд загальної збірки 9Т53.01.000 й кінцевий візок та подати їх до місця перевантаження РЧ 9М21 із закупорювання 9Я616 (9Я262) на стенд 9Т53.01.000, загальмувати стенд і кінцевий візок; зняти пломбування ключем 7811-0025, послабити контргайки стяжних болтів, торцевим ключем відгвинтити стяжні болти, зняти верхні стрічки закупорювання і прокладний картон із стовщень, що центрують; послабити гайки відкритих болтів та відкинути півкільця ложементів стенда загальної збірки 9Т53.01.000; закріпити на корпусі РЧ 9М21 траверсу Сб 11/9П 113 або Т9М21У так, щоб серга траверси знаходилась над центром ваги корпуса; перекласти РЧ 9М21 з опор закупорювання на стенд 9Т53.01.000 так, щоб корпус СД був звернений убік кінцевого візка, а крайній ЦУМД лежали на рамках стенда; зняти з РЧ 9М21 вантажо-захватний пристрій; закріпити корпус РЧ 9М21 на ложементах стенда за допомогою півкілець, затягти гайки на відкидних болтах; розгальмувати стенд, кінцевий візок і подати РЧ 9М21 до місця розбирання
№ 4	Розбирання шухляд із ЗІПом: розкрити шухляди № 1, 2, 3, що закріплені на закупорюванні 9Я616 (9Я262); витягти крила, втулки, гальмівні щитки, кабель і ключі; укласти на візок; від'єднати шухляди від закупорювання 9Я616 (9Я262); вивезти їх на прицехову площадку

№ 5	Подача закупорювання 9Я616 (9Я262) до місця пакування елементів виробу: подати від робочого місця по розбиранню РЧ 9М21 транспортний візок ТЦР-21 до місця перевантаження закупорювання і застопорити її; закріпити траверсу 9Т53.03.000 або Т9М21У на гаку електроталі і на закупорюванні 9Я616 (9Я262); перевантажити закупорювання на ТЦР-21 за допомогою електроталі (3,0 т); зняти з закупорювання вантажозахватні пристрої; розгальмувати транспортний візок ТЦР-21 і подати закупорювання 9Я616 (9Я262) до місця пакування елементів
№ 6	Відстикування переднього відсіку і кінцевих вимикачів: загальмувати стенд із РЧ 9М21 від подовжнього переміщення; зняти кожух 9Д19.00.300 відвернувши відкруткою 7810-0308 гвинти М5х14 із шайбами 565Г та 5х1,5; зняти накладку 9Д19.00.400 з переднього відсіку 9Д19.04.000 відвернувши відкруткою 7810-0308 гвинти М8х18 із шайбами 865Г і 8х1,5; зняти пломби з кінцевих вимикачів та згвинтити розетки Ш38 і Ш39 кабелю К4 з фальш колодок кронштейнів 9Д19.00.500; відстикувати фальш колодки; зняти кінцеві вимикачі, викрутивши болти 00.016 гайковим ключем 7811-00.005; на передній відсік 9Д19.00.400 надягти стикувальне пристосування 9Т53.15.000, підвішене на електроталі, підкотити стенд СН21-1 так, щоб ложементи стенда знаходилися під переднім відсіком; ключем 7811-0023 згвинтити гайки 9Д19.00.003 і зняти шайби зі шпильок, що кріплять передній відсік до середнього відсіку 9Д19.03.100; укласти передній відсік 9Д19.04.000 на ложементи стенда СН21-1 в ручну або за допомогою пристосування 9Т53.15.000 зняти друге ущільнювальне кільце 04.013; відвести передній відсік 9Д19.04.000 приблизно на 150 мм, розконтрити і відстикувати вставку Ш40 кабелю К1 від колодки Ш40 кабелю К5 ключем 7811-0315; відвести передній відсік на стенді СН21-1, а також стрічки, кожух, накладку, і кінцеві вимикачі в приміщення подальшої обробки
№ 7	Відстикування двох піропатронів УДП1-3 і сповільнювача 9Х220: рукояткою 9Ф336.00.005 відвернути стяжні гвинти і зняти стяжні стрічки 9Д19.00.600; зняти кришку 9Д19.04.014, відгвинтити болти М14х1,5 з гай-ками М14х1,5 гайковими ключами 7811-0023 і 78М-0025; зняти з пере-днього відсіку прокладку 9Д19.04.013; на корпусі МД відкрити люк № 2, проти якого знаходяться піропатрони УДП1-3; зняти контровку з піропатронів і сповільнювача; вигвинтити з перехідника 9Д19.01.001 у днище ДП сповільнювач 9Х220 з двома містками ключем 9Ф336.00.02; вигвинтити з перехідника 9Д19.01.201 у люку МД гнучким торцевим ключем 9Ф336.15.000 два піропатрони УДП1-3, покласти їх у збірку та подати до місця пакування
№ 8	Згвинчування середнього відсіку і двигуна провороту: викруткою 7810-0318 вигвинтити гвинт М8, що стопорить камору ДП 9Д19.03.300 у кришці 9Д19.03.400; закріпити ключ штурвальний 9Ф336.24.000 на каморі ДП; підкотити й установити пристосування ИРС-621; вигвин-тити камору ДП 9Д19.03.300 за допомогою ИРС-621 або вручну до розміру виходу різьблення рівному шаблону на вихід різьблення ДП; відкотити ИРС-621 на відстань не менше 1 м; зняти з камори ДП ключ штурвальний 9Ф336.24.000; підкотити до РЧ 9М21 стенд вертикальний 9Т53.02.000; вручну згвинтити камору ДП, установити і закріпити її в стенд 9Т53.02.000; розконтрити і відстикувати вставку Ш40П кабелю К5 від прохідної колодки 9Д19.00.000 ключем 7811-0315; відгвинтити гайку М5х12, зняти верхнє і нижнє півкільце 9Д19.00.007 і 9Д19.00.008 з патрубку ДП; вивернути 8 стопорний гвинтів 9Д19.01.001 стопоріння середнього відсіку 9Д19.03.100 ДП викруткою 9Ф336.20.000; закріпити ключ 9Ф336.11.000 чи стикувальне присто-сування 9Т53.15.000, підкотити і установити ИРС-621; вигвинтити середній відсік 9Д19.03.100 присто-суванням ИРС-621 або вручну до розміру виходу різьблення, рівному шаблону на вихід різьблення середнього відсіку; вручну згвинтити середній відсік і установити його на візок 9Т53.13.000; зняти ключ 9Ф336.20.000 із середнього відсіку; подати відсік, кабель К5, верхнє і нижнє півкільця, стопорні гвинти для подальшої обробки
№ 9	Розряджання двигуна провороту і підготовка елементів до пакування: зняти контровку з гвинтів 9Д19.02.002, кріплення діафрагми 9Д19.03.001 за допомогою гострозубців 7814-0123 і плоскогубців 7814-0098; вигвинтити гвинти 9Д19.02.002 гайковим ключем 7811-0004; випрямити лапки кріплення сепаратора оправлення 9Ф336.00.006 і вийняти діафрагму 9Д19.03.001; вийняти з камори 61 шашку порохового заряду 9Х18сб5 покласти у збірку; витягти з камори ДП сепаратор 9Д19.03.600; одягти на запалювач 9Х18Сб6 запобіжне кільце; випрямити лапки кріплення запалювача 9Х18Сб6 з правленням 9Ф336.00.006 і зняти запалювач в алюмінієвому футлярі; пакувати шашки в картонну коробку й обв'язати шпагатом, попередньо запалювач 9Х18Сб6 обгорнути папером та обв'язати шпагатом; запалювач і заряд ДП укласти на візок для транспортування та подати до місця пакування
№ 10	Згвинчування стартового двигуна, втулки і насадки: згвинчування СД, втулки, посадки; вивернути втулку з вкладишем 9Б42 торцевим ключем 9Ф336.07.000; послабити підтискну гайку 9Д19.00.018 насадки 9Д19.00.007 ключем 9Ф336.13.000; переустановити пристосування ИРС-621 для розгвинчування СД і його насадка; торцевим ключем 9Ф336.13.000 послабити підти-

© І. М. Неклонський, О. М. Смирнов

	скну гайку 9Д19.00.018 РЧ 9М21, зняти ключ; установити ключ 9Ф336.12.000 на насадок 9Д19.00.017, підкотити і установити ИРС-621; пристосуванням або вручну згвинтити насадок з МД, підкотити візок 9Т53.13.000; витягти насадок 9Д19.00.017, витягти прокладку 9Д19.00.002 і кільце ущільнювальне з МД і укласти на візок 9Т53.13.000; подати насадок, прокладку і кільце до місця пакування; вивернути стопорні гвинти 9Д19.01.001, що стопорять на СД і кільце 9Д19.01.003 викруткою 9Ф336.20.000; послабити кільце 9Д19.01.303 ключем 9Ф336.05.000; зняти контро-вочний дріт з гайок гальмових щитків; згвинтити 6 гайок кріплення гальмових щитків; прикотити стенд 9Т53.09.000; установити ключ 9Ф336.11.000 на корпусі СД; підкотити і установити ИРС-621; пристосуванням або вручну згвинтити СД із соплового блоку МД; зняти ключ 9Ф336.11.000; відкотити ИРС-621 на відстань не менше 2 м; зняти СД із МД за допомогою крана-штабелера і укласти у стенд 9Т53.09.000; подати СД і стопорні гвинти до місця пакування
№ 11	Розряджання стартового двигуна і підготовка елементів до пакування: закріпити корпус СД у стенді 9Т53.09.000 вертикально, попередньо перевіривши кріплення стяжок стенда; випрямити оправлення 9Ф336.00.006 лапки (16 шт.) кріплення 9Х18Сб4, зняти запалювач 9Х18Сб4 і укласти його у збірку; за допомогою гострозубців 7814-0123 і плоскогубців 7814-0098 зняти контровку гвинтів 9Д19.02.002 (4 шт.); оправленням 9Ф336.00.006 випрямити лапки циліндра 9Д19.02.200 відігнути по тримачу; вигвинтити гвинти 9Д19.02.002 кріплення тримача 9Д19.02.300 гайковим ключем 7811-0004 і вийняти тримач; вийняти 116 шашок порохового заряду 9Х18Сб3; запалювач обгорнути в два шари обгортковим папером і обв'язати шпагатом; загорнути 5 пакетів по 19 ша-шок і три пакети по 7 шашок в обгортковий папір у два шари та обв'язати кожен пакет шпагатом і укласти в картонну коробку; запалювач і заряд СД укласти на візок для транспортування та подати до місця пакування
№ 12	Згвинчування соплового блоку маршового двигуна: вигвинтити стопорні гвинти 9Д19.01.300 викруткою 9Ф336.20.200; установити ключ штурвальний 9Ф336.25.000 на корпус соплового блоку; підкотити й установити пристосування ИРС-621; за допомогою ИРС-621 або вручну вигвинтити сопловий блок з корпуса МД; відкотити ИРС-621 та кінцевій візок і застопорити його; установити опорні ковзанки кінцевого візка так, щоб сопловий блок при відкочуванні кінцевого візка міг вільно витягтися з корпуса МД; відкотити кінцевий візок із сопловим блоком і застопорити його; викруткою 9Ф366.20.000 вивернути стопоріння діафрагми 9Д19.01.340 і відокремити діафрагму від соплового блоку
№ 13	Розряджання маршового двигуна і підготовка елементів до пакування: закотити в кабіну спорядження установки наповнення 9Т53.04.000 під головний напівзаряд; застопорити її; закотити в кабіну спорядження стенда 9Т53.01.000 зі спорядженою камерою МД; установити стенд і застопорити його; лінія «ВЕРХ» на корпусі МД повинна бути зверху; закотити в кабіну спорядження установку наповнення 9Т53.04.000 під головний напівзаряд; з'єднати між собою стенд і установку наповнення, закрити шибера; опустити піднімальні рамки в крайнє нижнє положення; переміщаючи ложементи стенда загальної збірки в поперечному і вертикальному напрямку, відцентрувати камору МД зі стендом; увести цангу штовхача в канал головного напівзаряду, попередньо забравши кабель термометра опору; штовхач підвести впритул до заряду, обертаючи маховик штовхача, закріпити виріб цангою; зробити видалення головного напівзаряду з камори МД, контролюючи вихід сухарів напівзаряду з камори МД; увести цангу штовхача в сопловий напівзаряд, закріпити виріб цангою; витягти напівзаряд; від'єднати цанги, підняти піднімальні ролики, розтискати стенди та викотити з кабіни спорядження; подати в кабіну спорядження камору МД і кінцевий візок з сопловим блоком
№ 14	Подача й пакування заряду маршового двигуна: розгальмувати установку наповнення 9Т53.04.000 із сопловим напівзарядом МД і перекотити її з приміщення підготовки зарядів на площадку подачі елементів; загальмувати установку наповнення 9Т53.04.000; розгальмувати установку наповнення 9Т53.04.000 із головним напівзарядом МД і перекотити її з приміщення підготовки зарядів на площадку подачі елементів; загальмувати установку наповнення 9Т53.04.000; закріпити на головному напівзаряду МД бондаж 9Ф336.01.000 і за допомогою електроталі (3,0 т) укласти напівзаряд на ложементи дерев'яного закупорювання 9Я653 так, щоб напівзаряд 9ХСб1 був орієнтований убік маркування «головний торець»; закріпити заряд на ложементах за допомогою упорів і складених болтів закупорювання; установити кришку на підставку закупорювання за допомогою електроталі (3,0 т); закріпити кришку, затягти гайки і встановити шпильки; таким же способом укласти сопловий напівзаряд 9ХСб1 МД у дерев'яне закупорювання 9Я653
№ 15	Згвинчування дна і вилучення запалювача 9Х18Сб2 маршового двигуна: вигвинтити стопорний гвинт 9Д19.01.206 викруткою 7810-0318 з люка 9Д19.01.250; підкотити візок 9Т53.13.000; установити ключ штурвальний 9Ф336.24.000 на люк 9Д19.01.250 так, щоб він

	при обертанні не торкався прохідної колодки 9Д19.00.100; вигвинтити люк 9Д19.01.250 із дна МД пристосуванням ИРС-621 або вручну й укласти на візок; якщо перехідник 9Д19.01.201 не згвинчений, то попередньо вигвинтити його, а потім люк; торцевим ключем 9Ф336.06.000 вигвинтити кільце 9Д19.01.203 із дна МД пристосуванням ИРС-621 або вручну; прийняти прокладку 9Д19.01.207 і запалювач 9Х18Сб2 в алюмінієвому футлярі; закупорити запалювач у нештатне металеве закупорювання і подати його в кабіну розбирання; відстикувати вставку Ш40Д кабелю термометра опору 9Х71 (ТСП-162) від колодки Ш40Д кабелю К6 ключем 7811-0315; вигвинтити стопорні гвинти 9Д19.01.200 викруткою 9Ф336.20.000; установити штур-вальний ключ 9Ф336.25.000 на дно; підкотити і установити пристосування ИРС-621; вигвинтити дно МД пристосуванням або вручну до розміру виходу різьблення дна МД; подати візок 9Т53.13.000; відкотити ИРС-621 на відстань не менше 1 м; згвинтити дно і установити його на візок; зняти ключ 9Ф336.25.000; ключем 7811-0022 вивернути болт М10х20 стопоріння амортизатора 9Д19.01.240 і згвинтити амортизатор зі стакану 9Д19.01.230
№ 16	Пакування запалювачів та зарядів стартового двигуна і двигуна провороту: запалювач 9ХСб2 МД у алюмінієвому футлярі 9Я323 упакувати в короб герметичний металевий, поміщений у дерев'яний ящик; запалювач 9ХСб4 СД упакувати горизонтально у футляр металевий 9Я324, поміщений у ящик 9Я632 у кількості не більше 1 шт.; запалювач 9ХСб6 ДП в алюмінієвому футлярі упакувати в короб герметичний металевий, поміщений у дерев'яний ящик; укласти картонні коробки з шашками від порохових зарядів 9ХСб3 СД і 9ХСб5 ДП в короб герметичний металевий, поміщений у дерев'яний ящик; за допомогою трафарету нанести маркування на поверхню ящиків з порохом
№ 17	Пакування піропатронів УДП1-3 та сповільнювачів 9Х220: витягти піропатрони УДП1-3 та сповільнювачі 9Х220 зі збірки та упакувати в картонні коробки й обв'язати шпагатом, попередньо піропатрони УДП1-3 та сповільнювачі 9Х220 обгорнути папером та обв'язати шпагатом; укласти картонні коробки з піропатронами УДП1-3 та сповільнювачами 9Х220 в короб герметичний металевий, поміщений у дерев'яний ящик; всі порожні місця в коробі обкласти папером, для виключення переміщення піропатронів УДП1-3 та сповільнювачів 9Х220 при транспортуванні; вкласти ярлик, закрити та опломбувати ящики; за допомогою трафарету нанести маркування на поверхню ящиків з піропатронами УДП1-3 та сповільнювачами 9Х220
№ 18	Вилучення елементів, що містять дорогоцінні метали: взяти знятий кабель К7 (9Б216), обрізати рознімання Ш6, Ш3, ОР2 (АЕР-72М); взяти знятий кабель К2, обрізати рознімання ОР1 (АЕР-34М) та Г2; взяти знятий кабель К4, обрізати рознімання Ш37, Ш38, Ш39; взяти знятий кабель К1, обрізати рознімання Ш40, Ш41, Ш42, Ш35, Р3, ОР2, Г1 та Г3, взяти термометр опору 9Х71, обрізати рознімання Ш40П та Ш40Д, взяти знятий кабель К5 і К6, обрізати рознімання Ш40, Ш4ОД; взяти знятий кабель К3, обрізати рознімання Ш36, Ш43, Ш44; вибити ударом металевого молотка термометри опору 9Х71 (2 шт) з корпусу МД; сколоти з 9Х71 чохол з оргскла та змотати з каркасу платиновий дріт; витягти вкладиші та втулки 9Б42, відкусити, за допомогою гострозубців 7814-0123 припаяний до кінця дроту, вивід
№ 19	Знищення спеціального маркування на елементах виробу та маркування закупорювання 9Я616 (9Я262): візуальним способом оглянути 100 % елементів на безпечність у вибуховому відношенні; скласти акт контрольної перевірки металобрухту та вибухову безпеку; знищити маркування на всіх елементах, що отримані від розбирання РЧ 9М21 (забити клейма, маркування нанесене фарбою – зафарбувати); перевірений лом подати на майданчик тимчасового зберігання металобрухту
№ 20	Оформлення документації на розбирання РЧ 9М21. Знищення супровідної документації (формуляру): скласти Акт на розібрання РЧ 9М21 після перевірки якості розбирання перед представниками ВТК; супровідну документацію (формуляр, паспорт, карточки обліку) на розібраний виріб 9М21, знищити встановленим порядком; скласти Акт на знищення документації, який повинен зберігатися разом з актом на знищення РЧ 9М21
№ 21	Видача закупорювання з елементами із цеху до місця зберігання: на площадці цеху, запломбовані ящики з елементами РЧ 9М21, за допомогою траверси 9Т53.03.000 і електроталі (3,0 т), перевантажуються на автомобіль і завозяться у сховище.
№ 22	Допоміжні операції: Різання паперу і просочення її парафіном. Сортування парафінованого паперу (б/в). Нарізання пломбувального дроту на шматки необхідної довжини. Виготовлення трафаретів і ярликів

© І. М. Неклонський, О. М. Смирнов

Табл. 2. Перелік матеріалів, отриманих при розбиранні РЧ 9М21

№ з/п	Найменування елементів	Зміст				Маса, кг
		Матеріали	Чорний метал	Кольоровий метал	ДГМ, г	
1	2	3	4	5	6	7
1	Корпус 9Д19	ТЗП	Ст. ВП-20, 25, 30			744,6
2	Сопловий блок	ТЗП	Ст.45			65
3	Дно	ТЗП	Ст. ВТ-30			55,2
4	Планка захисна		Ст.3			1,25
5	Стрічка стяжна		Ст.3			0,68
6	Діафрагма МД	Текстоліт	Ст.45			34,1
7	Проміжна діафрагма	Текстоліт	Ст.45			26
8	Втулка з вкладишем	Графіт	Ст.3			9,6
9	Заряд маршового двигуна 9Х18сб1	Порох (2 шашки)	БРТТ НМФ-2Д			1090
10	Заряд стартового двигуна 9Х18сб3	Порох нітрогліцериновий (116 шашок)	БРТТ РСИ-60			40
11	Заряд двигуна провороту 9Х18сб5	Порох нітрогліцериновий (61 шашка)	БРТТ РСИ-60			12,65
12	Запальник МД 9Х18сб2	Порох димний	КЗДП-1			3,85
13	Запальник СД двигуна 9Х18сб4	Порох димний	ДРП-1			0,89
14	Запальник ДП 9Х18сб6	Порох димний	ДРП-1			0,229
15	Сповільнювач 9Х220	1 к-кт	Ст.3			0,302
16	Піропатрон УДП1-3	2 шт.	Ст.3			0,45
17	Кінцевий вимикач		Ст.3			0,65
18	Термометр опору ТСП-162 (9Х71)	Стекло текстоліт			Платина – 0,64 Срібло – 0,322	0,3
19	Блок живлення		Ст.3			1,6
20	Відривний роз'їм		Ст.3		Срібло –2,7802	0,4
21	Кабель К-154		Ст.3	Мідь М1		0,27
22	Кабель К-155		Ст.3	Мідь М1		0,17
23	Кабелі К-3, 4, 5, 6		Ст.3	Мідь М1		1,21
	Всього					2089,401
24	Закупорювання 9Я616 або 9Я262		Ст.10			424 або 560

Таким чином, утилізація РЧ 9М21 способом розбирання на елементи представляє собою процес послідовного виконання відповідних операцій (див. табл. 1). До числа відповідальних операцій відносяться: контроль РЧ 9М21 на допустимість до розряджання; розряджання СД, МД, ДП, вилучення УДП1-3 і 9Х220, пакування порохових зарядів 9ХСб1–9ХСб6 та УДП1-3, 9Х220.

6. Моделювання процесу утилізації тактичних ракет

Ефективність і безпека процесу утилізації буде залежати від ефективних організаційних рішень щодо впровадження відповідної технології не допускаючи перевантаження окремих ділянок вибухонебезпечними предметами. Таким чином

виникає задача визначення ефективності (оптимізації) відповідного процес утилізації, який представляє собою послідовне виконання окремих операцій. Така задача може бути вирішена з використанням методів дослідження операцій [6].

Процес утилізації можна представити у вигляді системи масового обслуговування, моделювання якої доцільно здійснювати з використанням ідей висвітлених у роботах [7–9].

Проведемо формалізацію процесу. Виходячи з теорії масового обслуговування, якщо є розмічений граф станів, то можна скласти рівняння Колгоморова для ймовірностей станів, а також скласти та розв'язати рівняння для фінальних ймовірностей.

В даному випадку система послідовного виконання окремих операцій (див. табл. 1) представляє так звану «схему гибелі та розмноження». Тоді граф станів даної системи буде мати вигляд, представлений на рис. 4.

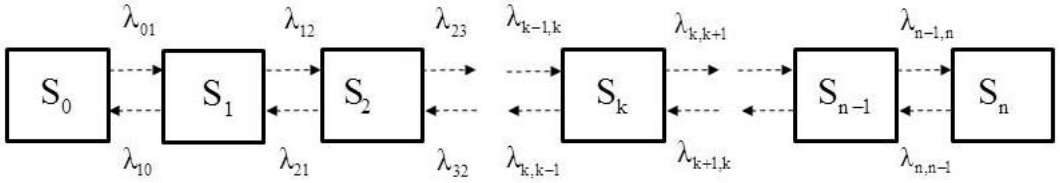

Рис. 4. Граф станів процесу утилізації ракети: n – кількість окремих операцій (див. табл. 2)

Користуючись графом рис. 4 алгебраїчне рівняння для фінальних ймовірностей буде мати вигляд

$$\left.\begin{aligned} &л_{01}\cdot p_0 = л_{10}\cdot p_1 \\ &л_{12}\cdot p_1 = л_{21}\cdot p_2 \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ &л_{k-1,k}\cdot p_{k-1} = л_{k,k-1}\cdot p_k \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ &л_{n-1,n}\cdot p_{n-1} = л_{n,n-1}\cdot p_n \end{aligned}\right\}, \qquad (1)$$

де $л_{ij}$ – інтенсивність потоку подій; p_i – ймовірність $i-$го стану системи.

Тоді для любого $k \in \{1,\ldots,n\}$

$$p_k = p_0 \cdot \frac{\lambda_{k-1,k}\cdots\lambda_{12}\cdot\lambda_{01}}{\lambda_{k,k-1}\cdots\lambda_{21}\cdot\lambda_{10}}. \qquad (2)$$

Якщо підставити всі вирази ймовірностей станів $(p_0, p_1, \cdots, p_n)$ у рівняння нормовочної умови $(p_0 + p_1 + \cdots + p_n = 1)$, то можна отримати вираз для p_0:

$$p_0 = \left(1 + \frac{л_{01}}{л_{10}} + \frac{л_{12}\cdot л_{01}}{л_{21}\cdot л_{10}} + \cdots + \frac{л_{n-1,n}\cdots л_{12}\cdot л_{01}}{л_{n,n-1}\cdots л_{21}\cdot л_{10}}\right)^{-1}. \qquad (3)$$

© І. М. Неклонський, О. М. Смирнов

Таким чином, знаючи p_0 можна розв'язати вираз (2) для кожного стану системи.

Разом з тим, відповідно до правил безпеки дозволяється одночасне знаходження в цеху для розряджання 1 од. РЧ 9М21. Тоді, враховуючи, що процес розряджання є суворо послідовним, його доцільно представити як одноканальну систему масового обслуговування з обмеженою чергою. Граф станів системи буде мати вигляд, представлений на рис. 5, де: S_0 – канал вільний; S_1 – канал зайнятий, черги немає; S_2 – канал зайнятий, одна заявка у черзі; … S_k – канал зайнятий, $k-1$ заявок стоять у черзі.

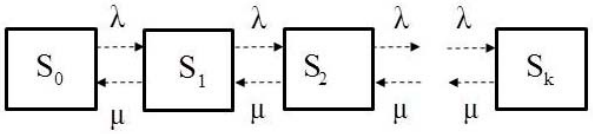

Рис. 5. Граф станів системи масового обслуговування з обмеженою чергою: λ – інтенсивність потоку заявок; μ – інтенсивність потоку обслуговування

Для такої системи актуальною є задача визначення фінальних ймовірностей станів і характеристик її ефективності, які доцільно розглядати з урахуванням залежностей формул Ерланга та Літтла.

Ефективність системи може бути визначена за такими показниками:

$L_{сист}$ – середня кількість заявок в системі; $W_{сист}$ – середній час перебування заявки в системі; $L_{чер}$ – середня кількість заявок у черзі; $W_{чер}$ – середній час перебування заявки в черзі; $P_{зан}$ – ймовірність того, що канал зайнятий (ступінь завантаження).

Тоді вираз для p_0 буде мати вигляд:

$$p_0 = \left(1 + \frac{\lambda}{\mu} + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2 + \cdots + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k\right)^{-1} = \left(1 + \rho + \rho^2 + \cdots + \rho^k\right)^{-1}, \quad (4)$$

де $c = \frac{л}{м}$ – приведена інтенсивність потоку заявок (середня кількість заявок, що поступають за середній час обслуговування однієї заявки).

Ряд у формулі (4) представляє геометричну прогресію. При чому, з урахуванням того, що фінальні ймовірності існують тільки при $c < 1$, – це прогресія, що убуває, із знаменником c. Тоді:

$$1 + c + c^2 + \cdots + c^k = \frac{1}{1-c}, \quad (5)$$

$$p_0 = 1 - c, \quad (6)$$

$$p_1 = \rho \cdot p_0,\ p_2 = \rho^2 \cdot p_0,\ \cdots,\ p_k = \rho^k \cdot p_0, \quad (7)$$

$$p_1 = c \cdot (1-c),\ p_2 = c^2 \cdot (1-c),\ \cdots,\ p_k = c^k \cdot (1-c). \quad (8)$$

Абсолютна пропускна здатність системи буде визначатись за формулою

$$A = л \cdot \left(1 - \frac{c^k}{k!} \cdot p_0\right). \quad (9)$$

Показники ефективності роботи системи можуть бути визначена за такими виразами:

$$L_{сист} = \frac{c}{1-c}. \quad (10)$$

$$W_{сист} = \frac{c}{л \cdot (1-c)}. \quad (11)$$

$$L_{чер} = L_{сист} - c = \frac{c}{1-c} - c = \frac{c^2}{1-c}. \quad (12)$$

$$W_{чер} = \frac{c^2}{л \cdot (1-c)}. \quad (13)$$

$$P_{зан} = 1 - p_0 = c. \quad (14)$$

Таким чином, всі показники ефективності системи знайдені.

Апробацію аналітичної моделі проведено за допомогою імітаційного моделювання у середовищі GPSS World [9–11]. 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.

7. Обговорення результатів моделювання процесу утилізації тактичних ракет

Отримані результати є спробою удосконалити національну систему утилізації боєприпасів шляхом впровадження нової технологій утилізації ракет 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 і т.п. У прямій постановці вирішується пряма задача, але в залежності від того, які саме параметри потрібно вибирати або змінювати може ставитись і зворотна 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. Однока-

© І. М. Неклонський, О. М. Смирнов

нальна система масового обслуговування представляє собою спеціалізований цех з утилізації, до якого надходить найпростіший потік виробів з інтенсивністю л (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: середню кількість виробів, що пов'язані з цехом ($L_{сист}$); середній час перебування виробу на підприємстві ($W_{сист}$) (на майданчику для підготовки до розбирання, у місцях тимчасового зберігання і в процесі розбирання); середню кількість виробів, які будуть очікувати на розбирання ($L_{чер}$); середній час перебування виробу в черзі ($W_{чер}$).

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. В межах поставлених завдань не ставилось за мету дослідити та математично описати процеси утилізації, які можна формалізувати у n-канальні системи масового обслуговування з необмеженою (обмеженою) чергою. Це може бути предметом подальших досліджень.

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 Державного науково-дослідного інституту хімічних продуктів (м. Шостка).

Результати дослідження можуть бути реалізовані 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.

8. Висновки

1. Розроблено технологію утилізації ракет 9М21 способом їх розбирання на елементи, яка дозволяє раціонально вилучати усі необхідні матеріали. Затрати на розбирання одного виробу складають 257 чол/год. Під час розбирання одного виробу можна отримати 870,63 кг чорного металобрухту, 1,65 г міді, 3,1 г срібла і 0,54 г платини.

2. Розроблено математичну модель процесу утилізації, математичний апарат якої дозволяє пов'язати задані умови технологічного процесу, формалізованого в систему масового обслуговування, з показниками ефективності роботи відповідної системи масового обслуговування, 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.

Крім того, модель дозволяє оцінювати додаткові економічні витрати або технологічний ризик у разі, якщо система масового обслуговування не справляється з потоком заявок.

Застосування запропонованого математичного апарату актуальне для опису технологій утилізації інших ракет і боєприпасів за умови, якщо процес утилізації є суворо послідовним, і його можна представити як одноканальну систему масового обслуговування з обмеженою чергою.

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. 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 Queuing 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).

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

MATHEMATICAL MODEL OF DISPOSAL OF TACTICAL ROCKET 9M21

The issues of the national system improvement of rockets disposal and ammunition were investigated. The methodological aspects of the effective organizational procedures development in this field were considered. It is determined that the technological policy of ammunition disposal should first

© І. М. Неклонський, О. М. Смирнов

and foremost provide technogenic and environmental safety during the organization and execution of all necessary works. The necessity of development high-efficiency technologies for 9M21 rockets disposal and effective organizational decisions to implement the appropriate technology were substantiated. To solve this issue, a systematic approach was applied. Scientific methods of generalization and comparison, analysis and synthesis, operations research, queuing theory were used. The technology of discharging rockets by way of their disassembly into elements is developed. The technology is designed with taking into account the necessity of implementing new high-efficiency rocket and ammunition disposal technologies. The process of disposal into a single-channel mass service system with a limited queue was formalized. This was done in order to substantiate effective organizational decisions for implementing the developed technology. The formalization made it possible to carry out a mathematical description of the relevant mass service system and to determine its performance indicators: average number of applications in the system; the average time of the application in the system; the average number of applications in the queue; the average waiting time of the application in queue; the probability that the channel is busy (load rate). Operational research methods were used for this purpose. It is proposed to use the results of this research for development of a mechanism of the rockets and ammunition disposal expertise, hazard identification and security enhancement of the respective processes.

Keywords: recycling, tactical rockets, disposal technology, queuing system

References

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

2. Dynamic Disposal An Introduction to Mobile and Transportable Industrial Ammunition Demilitarization Equipment. RASR Issue Brief. Small Arms Survey, 2013, 3, 1–16.

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

4. Neklonskyi, I., Smyrnov, O. (2017). Rozroblennia tekhnolohii utylizatsii kapsulnykh vtulok do artyleriiskykh postriliv z urakhuvanniam ryzyku vynyknennia avarii ta ekonomichnoi efektyvnosti robit. Problemy nadzvychainykh sytuatsii, 25, 73–84. Retrieved from http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/4712

5. Neklonskyi, I., Smyrnov, O. (2018). Model upravlinnia tekhnolohichnymy ryzykamy pry vprovadzhenni tekhnolohii utylizatsii kumuliatyvnykh boieprypasiv. Problemy nadzvychainykh sytuatsii, 27, 73–84. Retrieved from http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/7364

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

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

8. 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: https://doi.org/10.18483/ijsci.1583

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

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

11. GPSS world. Retrieved from: http://www.minutemansoftware.com/simulation.htm

Надійшла до редколегії: 06.02.2020
Прийнята до друку: 21.02.2020