

## УДК 623.48:614.833:519.8

*І. М. Неклонський, к.військ.н., доц. каф. (ORCID 0000-0002-5561-4945)*

*О. М. Смирнов, ст. викл. каф. (ORCID 0000-0002-1237-8700)*

*Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна*

## РИЗИК-ОРІЄНТОВАНИЙ ПІДХІД ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ ПРОТИТАНКОВИХ РЕАКТИВНИХ СНАРЯДІВ

Запропонований набір і послідовність операцій з розрядження протитанкових керованих реактивні снарядів. При цьому забезпечується раціональне вилучення всіх необхідних компонентів для подальшого використання у новій якості. Для підвищення ефективності процесу управління технологічним ризиком під час впровадження відповідної технології запропонований спосіб обробки експертно-лінгвістичної інформації під час кількісної оцінки прийнятих рішень щодо мінімізації ризиків, який базується на застосуванні методів теорії нечітких множин. Реалізація цього способу передбачає опис підмножин терм-множини системою з п'яти відповідних функцій належності трапецеїдального виду відносно вузлових точок з подальшим розв'язанням задачі засобами теорії нечітких множин. Для обробки експертної інформації застосовується статистичний метод, що дає можливість дослідити вплив відмов у кожній складовій (технологічній операції) на стан системи. Для комплексної оцінки застосовано метод ранжування, який базується на ідеї розподілу міри належності елементів універсальної множини відповідно до їх рангів. Для визначення коефіцієнтів пріоритетності частинних факторів використаний метод Фішберна. Отримано значення узагальненого адитивного показника ризику, який буде характеризувати процес утилізації в так званому ідеальному середовищі. Передбачено, що ризик виникнення аварії в реальному середовищі буде оцінюватись за ступенем відхилення від показника ідеального середовища. Даний підхід розглянуто в межах моделі управління ризиками, яка передбачає застосування методу марківського аналізування за концепцією «станів» («готовність», «відмова»). Це дає можливість під час експертного оцінювання ризику обробити результати методами формальної логіки. Робота є продовженням циклу досліджень направлених на розроблення та впровадження нових високоефективних технологій утилізації боєприпасів.

**Ключові слова:** боєприпаси, утилізація, технологія, модель управління, ризик, нечітка множина, матриця

### 1. Вступ

Відповідно до «Порядку утилізації ракет, боєприпасів і вибухових речовин», який затверджений Кабінетом Міністрів України у 2006 році, технологічна політика утилізації боєприпасів насамперед має забезпечити безпеку персоналу, навколишнього природного середовища і населення від шкідливого впливу виробничих процесів та продуктів утилізації. Водночас забезпечення високого рівня техногенної та екологічної безпеки під час утилізації боєприпасів 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.

Особливо гостро стоїть це питання щодо утилізації реактивних боєприпасів. Так, в Україні зберігаються протитанкові керовані реактивні снаряди (ПТКРС) марки ПТКРС 9М14М (рис. 1) з закінченим терміном придатності, що потребують негайної утилізації. Їх заборонено використовувати збройними формуваннями України під час бойових дій, які ведуться на території держави. Крім того, у відкритих інформаційних джерелах, які висвітлюють динаміку збройної агресії РФ проти України, неодноразово з'являється інформація, що агресор використовує великий спектр боєприпасів, у тому числі із запасів колишнього СРСР із сум-

нівним терміном придатності. Тому, не виключено, що після деокупації території України будуть виявлені певні арсенали таких боєприпасів. ПТКРС 9М14М був розроблений для боротьби з рухомими і нерухомими броньованими цілями і вогневими точкам на віддалені від 500 м до 3000 м (рис. 1). Управління снарядом і наведення його на ціль здійснюється за допомогою команд, що передаються на снаряд через спеціальні дроти з пульта управління, при спостереженні снаряда і цілі через оптичний прилад. В даний час практично немає універсальної процедури утилізації ПТКРС, яка б дозволяла не тільки раціонально вилучати всі необхідні матеріали, а й оцінювати ефективність організації таких робіт, так як це впливає на рівень техногенної та екологічної безпеки.



**Рис. 1. Реактивний снаряд 9М14М**

Аналіз методів утилізації боєприпасів [1, 2] та «Державної цільової оборонної програми утилізації звичайних видів боєприпасів, не придатних для подальшого використання і зберігання» показує, що з практичної точки зору перевага надається знищенню та розбиранню боєприпасів із застосуванням відкритого спалювання та детонації. Вони, як правило на містять складних технологічних процесів промислового рівня.

Разом з тим, у країнах НАТО спостерігається тенденція розроблення технологій, які не передбачають відкритого спалювання або відкритої детонації. Крім того, однією з головних умов забезпечення техногенної і природної безпеки в економічно розвинених країнах стало управління ризиками під час впровадження відповідних технологій.

Таким чином, залишається актуальною проблема впровадження ризик орієнтованого підходу щодо утилізації протитанкових керованих реактивних снарядів.

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

На сучасному етапі розвитку спостерігається тенденція розроблення технологій, які не передбачають відкритого спалювання або відкритої детонації. Але через відсутність відповідних технологічних рішень ще залишаються типи боєприпасів, утилізацію яких приходиться здійснювати відкритим способом.

Так, в роботі [3] проведений аналіз шкідливого впливу так званих відкритих технологій утилізації та впровадження нових. Серед альтернативних набувають подальшого розвитку технології, де присутні спеціальні установки, принцип дії яких оснований на використанні певного типу закритого горіння або локалізованої детонації. Але управління відповідними процесами автори розглядають тільки з позиції нормативно-технічного регулювання організації робіт у сфері захисту навколишнього середовища. Дослідження технологічних установок з утилізації стрілецької зброї [4], мобільних або модульних установок утилізації [4] стосуються певних технологічних особливостей та ефективності їх роботи. Але авторами не досліджується проблематика утилізації реактивних боєприпасів, крім того не досліджені питання щодо удосконалення системи управління техногенно-екологічною безпекою.

В роботі [6] авторами запропонована технологія утилізації, яка дозволяє енергетичний матеріал, що вивільняється, включити до складу вибухових речовин, що використовуються для цивільних потреб. Технологія є альтернативою традиційній утилізації, при якій відпрацьований енергетичний матеріал спалюється в статичній печі з обробкою димових газів. Однак, незважаючи на очевидні екологічні переваги, рекомендований авторами підхід може бути не життєздатним з урахуванням того, що використання вибухових речовин, вироблених з переробленого матеріалу різних партій та специфікацій, може привести до деяких варіацій у їхній продуктивності та характеристиках безпеки. Крім того, авторами не розглядається питання управління техногенно-екологічною безпекою запропонованого процесу.

Стаття [7] містить огляд досвіду та уроків, отриманих під час впровадження системного підходу до управління життєвим циклом боєприпасів в Боснії і Герцеговині. Під життєвим циклом автори розглядають увесь процес від планування до закупівлі (виготовлення), управління запасами та утилізації. При цьому, управління ризиками авторами розглядається як фундаментальний компонент системи управління запасами. Представлена інтегрована система управління ризиками базується на міжнародних стандартах. Разом з тим, автори акцентують увагу на взаємозв'язку між різними компонентами управління ризиками, також дають пояснення кожного компонента управління ризиками та методів для управління запасами. Саму процедуру оцінювання ризиків автори не розглядають.

Серед національних досліджень проблемам науково-технічного супроводження процесів утилізації боєприпасів присвячений цикл статей, в яких розглядаються проблемні питання утилізації тактичних ракет 9M21, авіаційних засобів ураження, 100 мм артилерійських пострілів УБК10 З 9M117, трасерів із артилерійських снарядів малих калібрів тощо. Останні дослідження «обумовлені необхідністю обґрунтування ефективних організаційних рішень щодо удосконалення технологічної політики утилізації боєприпасів». Авторами [8] «проведено формалізацію задачі оцінювання ефективності процесу утилізації, що дозволило оптимізувати рішення щодо управління таким процесом». Розв'язання передбачає вибір раціонального рішення з дотриманням принципу оптимальності, що є основою рішення задач динамічного програмування. Разом з тим, питання як враховувати ризики під час реалізації відповідного процесу утилізації, не досліджується.

В роботі [9] розроблена «модель управління ризиками відповідного технологічного процесу утилізації кумулятивних боєприпасів, яка враховує структурований підхід до реалізації управління ризиками та містить аналітичні залежності для кількісної оцінки прийнятих рішень щодо їх мінімізації». Разом з тим, потребує додаткових досліджень питання щодо застосування даної моделі до технологій утилізації реактивних боєприпасів. Крім того, автори залишили поза увагою дослідження способів використання експертно-лінгвістичної інформації під час кількісного оцінювання ризику. Адже в процесі експертного оцінювання з'являється множина нечітких змінних (лінгвістичних змінних), значення яких необхідно формалізувати в чіткі показники.

Проведений аналіз дає підстави стверджувати, що в даний час практично немає ефективної технології утилізації протитанкових керованих реактивних снарядів, яка б дозволяла раціонально вилучати всі необхідні матеріали і одночасно забезпечувала б техногенну та екологічну безпеку під час виконанні всіх необхідних робіт. Крім того відсутні аналітичні інструменти щодо застосування управ-

лінських рішень з мінімізації встановлених ризиків під час управління відповідним процесом.

Таким чином, невирішеною частиною розглянутої проблеми є відсутність високоефективної технології утилізації протитанкових керованих реактивних снарядів, яка не передбачає відкритого спалювання або відкритої детонації. Крім того, існуюча модель управління ризиками під час реалізації подібних технологій не описує спосіб обробки експертно-лінгвістичної інформації під час кількісної оцінки прийнятих рішень щодо мінімізації відповідних ризиків.

### **3. Мета та задачі дослідження**

Метою дослідження є розробка ризик-орієнтованого підходу щодо впровадження технології утилізації протитанкових реактивних снарядів. Це дозволить підвищити рівень техногенної та екологічної безпеки процесу утилізації непридатних протитанкових керованих реактивних снарядів, шляхом розроблення технологічного процесу, який не передбачає відкритого спалювання або відкритої детонації. При цьому модель управління ризиками відповідного технологічного процесу має передбачати обробку експертно-лінгвістичної інформації під час кількісної оцінки прийнятих рішень щодо мінімізації відповідних ризиків.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

– розробити поетапний технологічний процес з розрядження технічно непридатних протитанкових керованих реактивних снарядів, який не передбачає відкритого спалювання або відкритої детонації, та, одночасно, дозволяє раціонально вилучати всі необхідні матеріали;

– розробити спосіб обробки експертно-лінгвістичної інформації під час експертної оцінки ризиків, застосування якого дасть можливість множини нечітких змінних (лінгвістичних змінних) формалізувати в чіткі показники, що дозволить підвищити ефективність процесу управління технологічним ризиком під час впровадження відповідної технології.

### **4. Матеріали та методи дослідження**

Об'єкт дослідження – технологія утилізації боєприпасів. Предмет дослідження – технологічний процес з розрядження протитанкових керованих реактивних снарядів.

Дослідження має підтвердити гіпотезу, що знаючи будову протитанкового керованого реактивного снаряду можна розробити поетапний технологічний процес з його розрядження без застосування відкритого спалювання або відкритої детонації. При цьому для управління ризиками під час впровадження такої технології може бути використана модель, яка передбачає застосування методу марківського аналізування – концепцію «станів». Процес переходу між станами описується рівнянням Колгоморова, реалізація якого можлива, якщо результати експертного оцінювання ризику обробити методами формальної логіки. Це забезпечить перехід від якісних до кількісних показників під час обробки результатів експертних оцінок.

Методи дослідження визначаються сукупністю вирішуваних завдань і базуються на принципах конструювання, які використані під час розроблення технологічного процесу розрядження; методи аналізу, синтезу, експертних оцінок, марківського аналізування, статистичний, Фішберна, теорії нечітких множин, ранжування, які використані під час розроблення способу обробки експертно-  
weapons and military equipment. DOI: 10.52363/2524-0226-2024-39-5

лінгвістичної інформації під час експертної оцінки ризиків. Застосування програмних засобів середовищ Microsoft Office Excel та Mathcad дає можливість автоматизувати процес обробки результатів дослідження.

### **5. Розроблення технології утилізації протитанкових керованих реактивних снарядів**

Для розв'язання поставленого наукового завдання пропонується технологія утилізації непридатних до використання ПТКРС. Відповідна технологія передбачає певний набір і послідовність операцій з розрядження реактивних снарядів при організації потокового методу проведення робіт (табл. 1). Технологічним об'єктом є 125 мм протитанковий керований реактивний снаряд ПТКРС 9М14М (рис. 1).

Для проведення робіт мають застосовуватись наступні технологічні засоби: технологічний стіл – 18 шт.; автонавантажувач – 1 шт.; пакетировщик ПЯ-004 – 1 шт.; ручна тачка типу Т-0,5 – 5 шт.; рольганги ТР-6 – 4 шт.; пластинчатий транспортер ПТ-1000 – 1 шт.; спеціальні верстати для вигвинчування елементів снаряду (трасера, стабілізатора, підривника) – 3 шт., бронекабіна – 2 шт., парогенератор – 1 шт.; зборки під елементи – 16 шт.; ємність для мастила – 3 шт.; ємність під фарбу та розчинник – 5 шт.; сертифікований інструмент для роботи з боєприпасами (пломбір, кусачки, ключ-вилка) – 2 компл.; гасило – 10 шт.;

Для виконання технологічних функцій необхідно залучити підготовлений персонал у кількості 23 осіб.

Особливо небезпечними є операції № 8–12, 15, де обертаються небезпечні елементами ПТКРС 9М14М: підривник, трасер 9Х44, сповільнювач-запальник, електрозапальник з двома МБ-2Н, розривний заряд, запальники із п/м ДРП-2, поухові заряди з нітрогліцеринового пороху.

### **6. Розроблення способу обробки експертно-лінгвістичної інформації під час оцінки ризиків**

Для управління ризиками під час впровадження такої технології може бути використана відповідна модель [10]. Вона базується на вимогах міжнародних норм [0], імplementованих у національні стандарти ДСТУ ІЕС/ISO 31010:2013 і ДСТУ ISO 31000:2018.

Реалізація даної моделі «передбачає застосування методу марківського аналізування – концепцію «станів» («готовність», «відмова») і переходу між цими станами за припущення постійної ймовірності змінювання стану системи  $S$  ( $S_0$  – працездатний стан;  $S_1$  погіршений стан;  $S_2$  – стан відмови)» [9]. Процес переходу між станами описується рівнянням Колгморова.

Розв'язання рівняння Колгморова для ймовірностей станів [9] та оброблення отриманих результатів дає можливість керівнику оцінити ефективність прийнятих рішень з мінімізації технологічних ризиків. Але при такому підході, необхідно врахувати, що під час кількісного і якісного оцінювання ризику, як правило, перевага віддається методу експертних оцінок.

Тоді виникає протиріччя між нечіткими знаннями і чіткими методами застосування механізмів формальної логіки. Так, в процесі експертного оцінювання для того, щоб дати словесний опис деякому нечіткому числу, отриманому в результаті певних операцій, з'являється множина нечітких змінних (лінгвістична змінна). Розв'язати це протиріччя можна з використанням спеціальних методів теорії нечітких множин [12, 13]. Крім того, впровадження нової технології утилізації

необхідно розглядати як новий інвестиційний проект. Тоді необхідно враховувати новітні методичні підходи і практичні рекомендації щодо управління проектними ризиками [14, 15].

**Табл. 1. Перелік операцій під час розбирання ПТКРС 9М14М**

Операція	Зміст операції
№ 1	Подача ПТКРС 9М14М в закупорюванні 9Я618 або 9Я641 зі сховища в приміщення обігріву цеху до технологічного столу (транспортю). Вхідний контроль закупорювання
№ 2	Вилучення ПТКРС 9М14М із закупорювання 9Я618. Видалення стопорних вилок, відкриття замків та кришки ящика, огляд ракет на безпечність та допустимість до розбирання
№ 3	Вилучення ПТКРС 9М14М із 9Я641. Видалення стопорних вилок, відкриття замків та кришки ящика, огляд ракет на безпечність та допустимість до розбирання
№ 4	Подача ящиків 9Я618 або 9Я641 до місця пакування елементів, після розбирання ПТКРС 9М14М
№ 5	Закріплення ПТКРС 9М14М у пристосуванні, від'єднання бойової частини (БЧ) 9Н110М від рухової установки (РУ) та подача до місця розбирання
№ 6	Закріплення БЧ 9Н110М у пристосуванні та відкручування гвинтів і підтискної гайки. Вилучення підривника 9Э212 у бронекабіні, укладання їх у зборку
№ 7	Закріплення БЧ 9Н110М у пристосуванні та відкручування ковпака-обтічника, вилучення 16-ти прямокутних п'єзоелементів із ВаTiO <sub>3</sub> , укладання їх у зборку
№ 8	Установка корпусів БЧ 9Н110М у пароводяну ванну, нагрів до 65–75 °С. подача корпусів 9Н110М на розбирання кумулятивного вузла
№ 9	Розбирання корпусів БЧ 9Н110М на елементи: збір вибухової речовини (А-ІХ-1), детонатора, мідних воронок, інертних лінз, вкладишів, трубок, втулок та прокладок, укладання їх у зборку
№ 10	Контроль корпусів БЧ 9Н110М на повноту видалення вибухової речовини, укладання їх у зборку
№ 11	Розрядження стартового двигуна рухової установки (СД РУ) розташованого у передній потовщеній частині РУ: Закріплення РУ (рухової установки) у пристосуванні, вигвинчування дна та зняття кільця. Вилучення: камери з 4-ма соплами, порохового заряду 9Х110, запальника сб.3 9Х110 з ДРП-2 і двома електрозапалами МБ-2Н та контактної колодки, укладання їх у зборку
№ 12	Розрядження маршового двигуна рухової установки (МД РУ): вилучення камери з термо-стійкою обмазкою В-58, порохового заряду сб.1 9Х110 і запальника сб.3 9Х110 з ДРП-2 і двома електрозапалами МБ-2Н, що угвинчений в сферичне дно камери, сповільнювач 9Х113М, соплові патрубки і насадки, вигвинтити фільтр, укладання їх у зборку
№ 13	Від'єднання крилевого відсіку від РУ: зняття трасера і обмежувача; розгвинчування гвинтів, зняття осей, 4-х крил та механізму стопоріння крил, укладання їх у зборку
№ 14	Від'єднання апаратного блоку від РУ. Видалення рульової машинки (РМ), гіроскопа, розподільника і котушки з трижильним мікрокабелем дротяного зв'язку та вузла донної частини, укладання їх у зборку
№ 15	Пакування: вибухової речовини (А-ІХ-1); порохових зарядів; підривників 9Э212; сповільнювачів, електрозапальників МБ-2Н у пристосовані ящики. Закривання, пломбування та маркування ящиків
№ 16	Пакування елементів ПТКРС 9М14М у штатні ящики. Закривання, пломбування та маркування ящиків
№ 17	Знищення спеціального маркування на елементах виробу та маркування ящиків
№ 18	Видача ящиків з елементами ПТКРС 9М14М із цеху до місця зберігання
№ 19	Допоміжні операції: Різання паперу і просочення її парафіном. Сортування парафінованого паперу (б/в). Нарізання пломбувального дроту на шматки необхідної довжини. Виготовлення трафаретів і ярликів

З урахуванням [12–15] перейти від сукупності експертних оцінок до набору функцій належності, які утворюють нечіткий класифікатор, можна буде у наступний спосіб.

Нехай існує універсальна множина  $U$ , до якої відносяться всі результати спостережень. Нечітка множина  $A$  – це множина значень  $U$  – така, що кожному значенню  $U$  відповідає ступінь приналежності цього значення множини  $A$ . Тоді функцію належності  $\mu(u)$  буде функція, областю визначення якої є  $U$  ( $u \in U$ ), а областю значень – одиничний інтервал  $[0, 1]$ . Чим вище  $\mu(u)$ , тим вище оцінюється ступінь приналежності елемента  $U$  нечіткій множині  $A$ .

Задамо лінгвістичну змінну (ЛЗ)  $\Omega = \{\omega, T(\omega), U, G, M\}$ , де  $\omega$  – назва змінної;  $T$  – сукупність її лінгвістичних значень (терм-множина значень);  $G$  – синтаксичне правило, що породжує терми множини  $T$ ;  $M$  – семантичне правило, яке кожному лінгвістичному значенню  $\omega$  ставить у відповідність його сенс  $M(\omega)$ , причому  $M(\omega)$  позначає нечітку підмножину  $U$ .

Тоді є доцільним побудувати нормальний нечіткий інтервал  $(I = a; b; c; d)$  із трапецієподібною функцією належності вигляду:

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } x \leq a, \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{якщо } a < x < b, \\ 1, & \text{якщо } b \leq x \leq c, \\ \frac{d-x}{d-c}, & \text{якщо } c < x < d, \\ 0, & \text{якщо } x \geq d. \end{cases} \quad (1)$$

Графік функції належності трапецієподібного нечіткого інтервалу наведено на рис. 2.

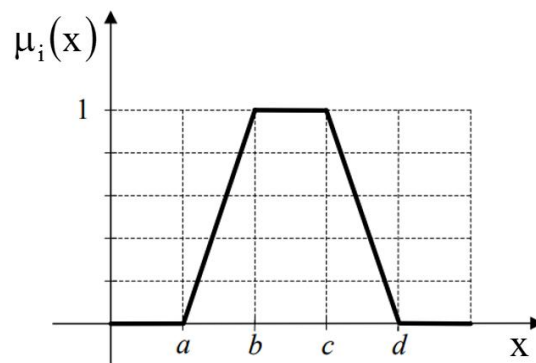


Рис. 2. Трапецієподібний нечіткий інтервал

Таким чином, сутність способу обробки експертно-лінгвістичної інформації зводиться до наступного. Вводиться лінгвістична змінна «Рівень показника» з терм-множиною значень {«дуже низький», «низький», «середній», «високий», «дуже високий»}. Для опису підмножин терм-множини вводяться системи з п'яти відповідних функцій належності трапецієподібного виду відносно вузлових точок. В подальшому задача розв'язується засобами матричної схеми. При цьому, з метою збільшення адекватності результатів обробки нечітких кількісних експертних оцінок доцільно враховувати особливості виявлення закономірностей уявлення

експертами наближених значень конкретних величин [16].

З урахуванням вище викладеного, обробка експертних висновків буде мати наступний порядок.

Визначимо такі терми лінгвістичної змінної «Ризик аварії»:  $T_1$  – дуже низький (ДН),  $T_2$  – низький (Н),  $T_3$  – середній (С),  $T_4$  – високий (В),  $T_5$  – дуже високий (ДВ). Задаємо терми у вигляді трапецієвидних функцій належності четвірками чисел  $\langle a; b; c; d \rangle$  з урахуванням вербально-числової шкали Харрінгтона [13, 17]:

$$T_1 = \langle 0; 0; 0,15; 0,25 \rangle - \text{ДН};$$

$$T_2 = \langle 0,15; 0,25; 0,35; 0,45 \rangle - \text{Н};$$

$$T_3 = \langle 0,35; 0,45; 0,55; 0,65 \rangle - \text{С};$$

$$T_4 = \langle 0,55; 0,65; 0,75; 0,85 \rangle - \text{В};$$

$$T_5 = \langle 0,75; 0,85; 1; 1 \rangle - \text{ДВ}.$$

Тоді, опис підмножин терм-множини можна здійснити шляхом введення системи з п'яти відповідних функцій належності трапецієподібного виду відносно вузлових точок на осі абсцис, а саме:

$$\mu_1(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x \leq 0,15; \\ 10 \cdot (0,25 - x), & 0,15 < x < 0,25; \\ 0, & 0,25 \leq x \leq 1. \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_2(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq 0,15; \\ 10 \cdot (x - 0,15), & 0,15 < x < 0,25; \\ 1, & 0,25 \leq x \leq 0,35; \\ 10 \cdot (0,45 - x), & 0,35 < x < 0,45; \\ 0, & 0,45 \leq x \leq 1. \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_3(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq 0,35; \\ 10 \cdot (x - 0,35), & 0,35 < x < 0,45; \\ 1, & 0,45 \leq x \leq 0,55; \\ 10 \cdot (0,65 - x), & 0,55 < x < 0,65; \\ 0, & 0,65 \leq x \leq 1. \end{cases} \quad (3)$$

$$\mu_4(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq 0,55; \\ 10 \cdot (x - 0,55), & 0,55 < x < 0,65; \\ 1, & 0,65 \leq x \leq 0,75; \\ 10 \cdot (0,85 - x), & 0,75 < x < 0,85; \\ 0, & 0,85 \leq x \leq 1. \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu_5(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq 0,75; \\ 10 \cdot (0,75 - x), & 0,75 < x < 0,85; \\ 1, & 0,85 \leq x \leq 1. \end{cases} \quad (5)$$



Графічно система трапецієподібних функцій належності представлена на рис. 3.

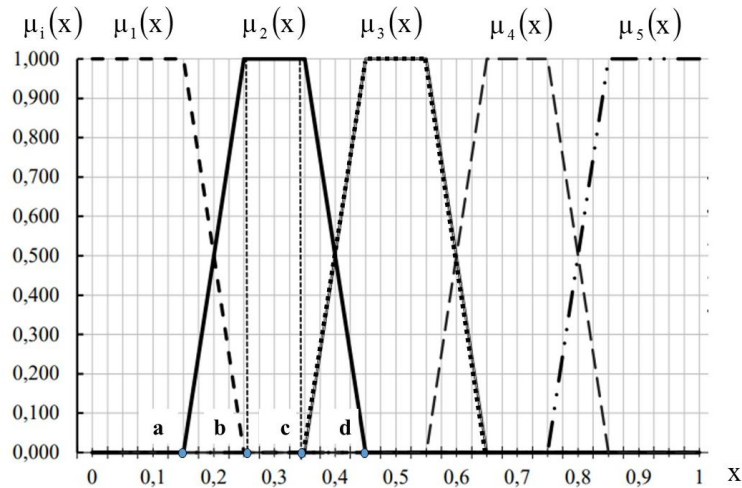


Рис. 3. Система трапецієподібних функцій належності (1–5)

Процес побудови функції належності нечіткої множини здійснюється на підставі експертного оцінювання квазістатистики. В якості квазістатистики експертам запропонована вибірка з табл. 1 з класифікацією відповідно Тимчасового переліку небезпечних і особливо небезпечних технологічних операцій під час роззарядження і утилізації боєприпасів (НПАОП 29.6-2.01-95).

Перелік операцій під час розбирання ПТКРС 9М14М (табл. 1) представимо як універсальну множину  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ,  $i = \overline{1, n}$ , де  $x_i$  – відповідна операція за переліком,  $n = 19$  – кількість операцій у переліку. Визначається значення функції належності по кожному терму для кожної лінгвістичної змінної:  $\mu_{ij}(x_i)$ ,  $i = \overline{1, 19}$ ,  $j = \overline{1, 5}$ .

Для обробки експертної інформації застосовується статистичний метод, що дає можливість дослідити вплив відмов у кожній складовій (технологічній операції) на стан системи  $S$ .

Для комплексної оцінки доцільно застосувати метод ранжування [18], який базується на ідеї розподілу міри належності елементів універсальної множини відповідно до їх рангів. Рангом елемента  $x_i \in X$  є число  $r_i(x_i)$ ,  $i = \overline{1, n}$ , яке вказує на важливість цього елемента у формуванні властивості, яка описується нечітким термом. При цьому, вважається, що чим більшим є ранг елемента, тим більшою є міра впевненості у належності елемента нечіткій множині. Для визначення коефіцієнтів пріоритетності частинних факторів використовуємо метод Фішберна [19].

За результатами експертного оцінювання визначені наступні ранги пріоритетності:

$$\begin{aligned} r_6 = r_9 = r_{10} = r_{11} = r_{12} = r_{15} > r_2 = r_7 = r_8 = r_{14} > r_3 = \\ = r_5 = r_{13} = r_{18} > r_1 = r_{16} > r_{17} > r_4 > r_{19}. \end{aligned} \quad (6)$$

Тоді коефіцієнт пріоритетності  $k_i$  для  $i$ -тої операції буде обчислюватись за формулою:

$$k_i = \frac{2 \cdot (m + 1 - p_i)}{m \cdot (m + 1)}, \quad (7)$$

де  $m$  – кількість ключових показників;  $p_i$  – номер  $i$ -го показника в порядку його важливості.

Для кожного однакового за змістом терму матимемо зважені з коефіцієнтами пріоритетності оцінки:

$$X_j = \sum_{i=1}^{19} k_i \cdot \mu_{ij}. \quad (8)$$

Оцінку узагальненого адитивного показника ризику знаходимо за адитивною згортокою:

$$K = \sum_{j=1}^n X_j \cdot T_{\alpha_j}, \quad (9)$$

де  $T_{\alpha_j}$  – середина  $\alpha$ -зрізу нечіткого терму лінгвістичної змінної ( $T_{\alpha_1} = 0,1$ ;  $T_{\alpha_2} = 0,3$ ;  $T_{\alpha_3} = 0,5$ ;  $T_{\alpha_4} = 0,7$ ;  $T_{\alpha_5} = 0,9$ ).

Результати обробки експертних висновків представлені у табл. 2.

**Табл. 2. Результати обробки експертних висновків**

ЛЗ, $x_i$	Функція належності, $\mu_{ij}(x_i)$				
	терми				
	ДН $\langle 0;0;0,15;0,25 \rangle$	Н $\langle 0,15;0,25;0,35;0,45 \rangle$	С $\langle 0,35;0,45;0,55;0,65 \rangle$	В $\langle 0,55;0,65;0,75;0,85 \rangle$	ДВ $\langle 0,75;0,85;1;1 \rangle$
$x_1$	0	0	1	0	0
$x_2$	0	0	1	0	0
$x_3$	0	0	1	0	0
$x_4$	0	1	0	0	0
$x_5$	0	0	0	1	0
$x_6$	0	0	0	0	1
$x_7$	0	0	0	1	0
$x_8$	0	0	0	0	1
$x_9$	0	0	0	0	1
$x_{10}$	0	0	0	0	1
$x_{11}$	0	0	0	1	0
$x_{12}$	0	0	0	0	1
$x_{13}$	0	0	1	0	0
$x_{14}$	0	0	1	0	0
$x_{15}$	0	0	0	0	1
$x_{16}$	0	1	0	0	0
$x_{17}$	1	0	0	0	0
$x_{18}$	0	1	0	0	0
$x_{19}$	1	0	0	0	0
$x_j$	0,02	0,07	0,15	0,2	0,5
K	0,68				

Значення узагальненого адитивного показника ризику  $K = 0,68$  відповідає терму  $T_4$  (високий) з  $\mu_4(x) = 1$ . При чому, можна стверджувати, що отримані результати будуть характеризувати процес утилізації в так званому ідеальному середо-

вищі, де кожній характеристиці  $x_i$  відповідає одиничний ступінь належності. Коефіцієнт реального середовища буде визначатися ступенем відхилення його від ідеального середовища, яке задається множиною  $X$ . Значення функцій належності реального середовища визначаються експертами з урахуванням організації технологічного процесу на базі конкретних виробничих об'єктів.

### **8. Обговорення результатів обробки експертно-лінгвістичної інформації під час оцінки ризиків**

Отримані результати пояснюються необхідністю удосконалити національну систему утилізації боєприпасів шляхом впровадження нової технології утилізації протитанкових керованих реактивних снарядів, яка, на відміну від існуючої, не передбачає спалювання та відкритої детонації.

Особливістю запропонованого технологічного процесу утилізації є представлення його як багатоетапну операцію в ході якої забезпечується раціональне вилучення всіх необхідних компонентів для подальшого використання у новій якості. При цьому для реалізації існуючої моделі управління ризиками під час впровадження такої технології запропонований спосіб обробки результатів експертного оцінювання ризику оснований на застосуванні методів теорії нечітких множин. Це забезпечує перехід від якісних до кількісних показників під час обробки результатів експертних оцінок. Крім того, введення значення узагальненого адитивного показника ризику, дає можливість ввести критерії для оцінювання ризику в реальному середовищі конкретного виробництва.

Даний підхід розглянуто в межах моделі управління ризиками, яка передбачає застосування методу марківського аналізування за концепцією «станів» («готовність», «відмова»). Реалізація його передбачає, що в процесі оцінювання ризиків під час виникнення аварії (відмови) при відповідній інтенсивності потоку подій, за окремими характеристиками чи всієї системи в цілому можна зробити висновок чи буде переходити система із одного стану в інший, а розв'язання рівняння Колгоморова дає значення фінальних ймовірностей такого переходу. При чому, за відсутності чисельних значень, їх можна задати відповідними функціями належності отриманими під час аналізу ризику виникнення аварії.

Разом з тим, застосування методів марківського аналізування та теорії нечітких множин обумовлює певні обмеження та припущення.

Так, застосування нечітких описів має базуватись на наступних правилах:

– моделі таких систем описуються набором кількісних і якісних факторів, які викликають ризики загальним числом  $N$ , всі фактори повинні бути вимірними;

– експерту необхідно зафіксувати показник (фактор) ризику і його кількісний носій. На вибраному носії експертом будується лінгвістична змінна зі своєю терм-множиною значень а саме: змінна «Рівень показника  $X$ » може мати терм-множину значень ризиків: «Дуже низький», «Низький», «Середній», «Високий», «Дуже високий»;

– кожному значенню лінгвістичної змінної (яке, за своєю побудовою, є нечіткою підмножиною значень інтервалу  $(0,1)$  області значень показника ризику) зіставляється функція належності рівня ризику тій чи іншій нечіткій підмножині.

Застосуванням методу марківського аналізування обумовлюються припущення щодо постійних ймовірностей змінення стану, що усі події статистично незалежні; необхідність чіткого розуміння можливих переходів стану, знання операцій з матрицями тощо.

Для обробки отриманих результатів доцільно застосовувати програмні апарати середовищ Microsoft Office Excel та Mathcad. 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.

Робота є продовженням циклу досліджень направлених на розроблення та впровадження нових високоефективних технологій утилізації боєприпасів.

## 9. Висновки

1. Для забезпечення високого рівня техногенної та екологічної безпеки під час утилізації боєприпасів запропонований набір і послідовність операцій з розрядження протитанкових керованих реактивні снарядів. При цьому забезпечується раціональне вилучення всіх необхідних компонентів для подальшого використання у новій якості. Орієнтована продуктивність розрядження одного виробу ПТКРС 9М14М – 360,0 осіб/год. Економічна ефективність запропонованої технології може бути розрахована на підставі аналізу кошторисних калькуляцій з урахуванням особливостей конкретного підприємства, що має ліцензію на проведення таких робіт.

2. Для підвищення ефективності процесу управління технологічним ризиком під час впровадження відповідної технології запропонований спосіб обробки експертно-лінгвістичної інформації під час кількісної оцінки прийнятих рішень щодо мінімізації ризиків, який базується на застосуванні методів теорії нечітких множин. Даний спосіб розглянуто в межах моделі управління ризиками, яка передбачає застосування методу марківського аналізування за концепцією «станів» («готовність», «відмова»). Це дає можливість під час експертного оцінювання ризику обробити результати методами формальної логіки.

## Література

1. 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>
2. Bagley W. Disposal of Insensitive Munitions. DSIAC Journal. 2019. Vol. 6. № 3. P. 5–9. URL: <https://dsiac.org/journals/summer-2019-volume-6-number-3/>
3. Alternatives for the Demilitarization of Conventional Munitions. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Washington, DC: The National Academies Press, 2019. 132 p. doi: 10.17226/25140
4. Danssaert P., Wood B. 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](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)
5. Disposal D. 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>

6. Ferreira C., Ribeiro J., Clift R., Freire F. A Circular Economy Approach to Military Munitions: Valorization of Energetic Material from Ammunition Disposal through Incorporation in Civil Explosives. *Sustainability*. 2019. 11. 255p. doi: 10.3390/su11010255

7. Carapic J., Deschambault E. J., Holtom P., King B. Life-Cycle Management of Ammunition: Safety, Security, and Sustainability. *The Journal of Conventional Weapons Destruction*. 2018. Vol. 22. Issue 2. Article 2. URL: <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol22/iss2/2>

8. Неклонський І. М., Смирнов О. М. Оптимізація технології випалювання трасерів із артилерійських снарядів малих калібрів. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2022. № 2(36). С. 349–362. doi: 10.52363/2524-0226-2022-36-25

9. Неклонський І. М., Смирнов О. М. Модель управління технологічними ризиками при впровадженні технології утилізації кумулятивних боєприпасів. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2018. № 27. С. 73–84. URL: <https://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol27/neklonskiy.pdf>

10. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide). Fifth Edition. Project Management Institute, USA, 2013. 616 p. URL: [https://repository.dinus.ac.id/docs/ajar/PMBOKGuide\\_5th\\_Ed.pdf](https://repository.dinus.ac.id/docs/ajar/PMBOKGuide_5th_Ed.pdf)

11. A structured approach to Enterprise Risk Management (ERM) and the requirements of ISO 31000. AIRMIC, Alarm, IRM, 2010. 18 p. URL: <https://www.ferma.eu/app/uploads/2011/10/a-structured-approach-to-erm.pdf>

12. Arunraj N. S., Saptarshi M., Maiti J. Modeling uncertainty in risk assessment: An integrated approach with fuzzy set theory and Monte Carlo simulation. *Accident Analysis & Prevention*. 2013. Vol. 55. P. 242–255. doi: 10.1016/j.aap.2013.03.007

13. Mockor J., Hýnar D. On Unification of Methods in Theories of Fuzzy Sets, Hesitant Fuzzy Set, Fuzzy Soft Sets and Intuitionistic Fuzzy Sets. *Mathematics*, 2021. 9. 447 p. doi: 10.3390/math9040447

14. Gavrysh O., Melnykova V. Project risk management of the construction industry enterprises based on fuzzy set theory. *Problems and Perspectives in Management*. 2019. 17(4). 203–213. doi: 10.21511/ppm.17(4).2019.17

15. Cagliano A. C., Grimaldi S., Rafele C. Choosing project risk management techniques. A theoretical framework. *Journal of Risk Research*. 2015. Vol. 18. Issue 2. P. 232–248. doi: 10.1080/13669877.2014.896398

16. Shahbazi N., Lin Y., Asude A., Jagadish H. V. Representation Bias in Data: A Survey on Identification and Resolution Techniques. *ACM Computing Surveys*. 2023. Vol. 55. Issue 13. Art. 293. P. 1–39. doi: 10.1145/3588433

17. Illiashenko S., Illiashenko N., Shypulina Yu., Raiko D., Bozhkova V. Approach to Assessment of Prerequisites for Implementation of Strategic Directions of Innovative Development of Industrial Enterprises (June 30, 2021). *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. 3(13(111)). P. 31–46. doi: 10.15587/1729-4061.2021.233520

18. Venkata R. R., Lakshmi J. R-method: A simple ranking method for multi-attribute decision-making in the industrial environment. *Journal of Project Management*. 2021. P. 223–230. doi: 10.5267/j.jpm.2021.5.001

19. Sepeta V. Evaluation of the level of the competitiveness and labor potential of industrial enterprises by means of the integral indicator. *Green, Blue and Digital Economy Journal*. 2021. Vol. 2. № 1. P. 82–89. doi: 10.30525/2661-5169/2021-1-12

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

## **RISK-BASED APPROACH TO THE IMPLEMENTATION OF THE TECHNOLOGY OF THE DISPOSAL OF ANTI-TANK REACTIVE PROJECTILE**

To ensure a high level of man-made and environmental safety during the disposal of ammunition, a set and sequence of operations for discharging anti-tank guided missiles is proposed. At the same time, rational extraction of all necessary components is ensured for further use in new quality. In order to increase the efficiency of the technological risk management process during the implementation of the relevant technology, a method of processing expert-linguistic information during the quantitative assessment of the decisions made regarding risk minimization is proposed. The method is based on the application of fuzzy set theory methods. The implementation of this method involves the description of the subsets of the term set by a system of five corresponding functions belonging to the trapezoidal form with respect to the nodal points, followed by solving the problem by means of fuzzy set theory. A statistical method is used to process expert information. This makes it possible to investigate the impact of failures in each component (technological operation) on the state of the system. For comprehensive assessment, the ranking method is used, which is based on the idea of distributing the degree of belonging of the elements of the universal set according to their ranks. The Fishburne method was used to determine the priority coefficients of partial factors. The value of the generalized additive risk indicator was obtained, which will characterize the disposal process in the so-called ideal environment. It is assumed that the risk of an accident in a real environment will be assessed by the degree of deviation from the ideal environment. This approach is considered within the framework of the risk management model, which involves the application of the Markov analysis method based on the concept of "states" ("readiness", "failure"). This makes it possible to process the results using formal logic methods during expert risk assessment. The work is a continuation of the cycle of research aimed at the development and implementation of new highly effective technologies for the disposal of ammunition.

**Keywords:** ammunition, disposal, technology, management model, risk, fuzzy set, matrix

### **References**

1. 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>
2. Bagley, W. (2019). Disposal of Insensitive Munitions. *DSIAC Journal*, 6, 3, 5–9. Available at: <https://dsiac.org/journals/summer-2019-volume-6-number-3/>
3. Alternatives for the Demilitarization of Conventional Munitions. (2019). National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Washington, The National Academies Press. doi: 10.17226/25140
4. Danssaert, P., Wood, B. (2020). Surplus and Illegal Small Arms, Light Weapons and their Ammunition: the consequences of failing to dispose and safely destroy them. 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](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)
5. Disposal, D. 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>
6. Ferreira, C., Ribeiro, J., Clift, R., Freire, F. (2019). A Circular Economy Approach to Military Munitions: Valorization of Energetic Material from Ammunition Disposal through Incorporation in Civil Explosives. *Sustainability*, 11, 255. doi: 10.3390/su11010255

7. Carapic, J., Deschambault, E. J., Holtom, P., King, B. (2018). Life-Cycle Management of Ammunition: Safety, Security, and Sustainability. *The Journal of Conventional Weapons Destruction*, 22, 2, 2. Available at: <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol22/iss2/2>
8. Neklonskyi, I. M., Smyrnov, O. M. (2022). Optimization of the technology of firing tracers from small-caliber artillery shells. *Problems of emergency situations*, 2(36), 349–362. doi: 10.52363/2524-0226-2022-36-25
9. Neklonskyi, I. M., Smyrnov, O. M. (2018). The model of technological risk management during the implementation of the technology of disposal of cumulative ammunition. *Problems of emergency situations*, 27, 73–84. Available at: <https://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol27/neklonskiy.pdf>
10. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide). Fifth Edition. (2013). Project Management Institute, USA. Available at: [https://repository.dinus.ac.id/docs/ajar/PMBOKGuide\\_5th\\_Ed.pdf](https://repository.dinus.ac.id/docs/ajar/PMBOKGuide_5th_Ed.pdf)
11. A structured approach to Enterprise Risk Management (ERM) and the requirements of ISO 31000. (2010). AIRMIC, Alarm, IRM. Available at: <https://www.ferma.eu/app/uploads/2011/10/a-structured-approach-to-erm.pdf>
12. Arunraj, N. S., Saptarshi, M., Maiti, J. (2013). Modeling uncertainty in risk assessment: An integrated approach with fuzzy set theory and Monte Carlo simulation, *Accident Analysis & Prevention*, 55, 242–255. doi: 10.1016/j.aap.2013.03.007
13. Mockor, J., Hýnar, D. (2021). On Unification of Methods in Theories of Fuzzy Sets, Hesitant Fuzzy Set, Fuzzy Soft Sets and Intuitionistic Fuzzy Sets. *Mathematics*, 9, 447. doi: 10.3390/math9040447
14. Gavrysh, O., Melnykova, V. (2019). Project risk management of the construction industry enterprises based on fuzzy set theory. *Problems and Perspectives in Management*, 17(4), 203–213. doi: 10.21511/ppm.17(4).2019.17
15. Cagliano, A. C., Grimaldi, S., Rafele, C. (2015). Choosing project risk management techniques. A theoretical framework. *Journal of Risk Research*, 18, 2, 232–248. doi: 10.1080/13669877.2014.896398
16. Shahbazi, N., Lin, Y., Asude, A., Jagadish, H. V. (2023). Representation Bias in Data: A Survey on Identification and Resolution Techniques. *ACM Computing Surveys*, 55, 13, 293, 1–39. doi: 10.1145/3588433
17. Illiashenko, S., Illiashenko, N., Shypulina, Y., Raiko, D., Bozhkova, V. (2021). Approach to Assessment of Prerequisites for Implementation of Strategic Directions of Innovative Development of Industrial Enterprises (June 30, 2021). *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(13(111)), 31–46. doi: 10.15587/1729-4061.2021.233520
18. Venkata, R., Lakshmi, J. (2021). R-method: A simple ranking method for multi-attribute decision-making in the industrial environment. *Journal of Project Management*, 223–230. doi: 10.5267/j.jpm.2021.5.001
19. Sepeta, V. (2021). Evaluation of the level of the competitiveness and labor potential of industrial enterprises by means of the integral indicator. *Green, Blue & Digital Economy Journal*, 2, 1, 82–89. doi: 10.30525/2661-5169/2021-1-12

Надійшла до редколегії: 04.03.2024

Прийнята до друку: 10.04.2024