

## УДК 351.861

С. О. Степанчук<sup>1</sup>, викл. каф. (ORCID 0000-0002-6618-4119)

В. М. Стрілець<sup>1</sup>, д.т.н., професор, ст. викл. каф. (ORCID 0000-0001-5992-1195)

Є. О. Макаров<sup>1</sup>, PhD, викл. каф. (ORCID 0000-0003-0785-3041)

В. В. Стрілець<sup>2</sup>, к.т.н., Supervisor EORE (ORCID 0000-0003-1913-7878)

<sup>1</sup>Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

<sup>2</sup>International Humanitarian Organization The Halo Trust, Київ, Україна

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ КІЛЬКІСНИЙ АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ГУМАНІТАРНОГО РОЗМІНУВАННЯ В РАДІАЦІЙНО-ЗАБРУДНЕНІЙ МІСЦЕВОСТІ

Здійснено порівняльний аналіз особливостей виконання контрольної типової операції гуманітарного розмінування в радіаційно-забрудненій місцевості шляхом порівняння часу реалізації способу смикування протитанкової міни, в трьох різних варіантах використання комплексу засобів індивідуального захисту піротехніками Державної служби України з надзвичайних ситуацій за різних умов можливого радіаційного впливу: комбінації захисного костюму Л-1, бронезахисту типу захисний бронезилет IV рівня захисту, захисного бронешолому III-A рівня захисту та респіратору типу ЗМ 6200 ffr3; комбінації захисного костюму Л-1, бронезахисту типу захисний бронезилет IV рівня захисту, захисного бронешолому III-A рівня захисту та фільтрувального протигазу типу ГП-5; комбінації захисного костюму Л-1, бронезахисту типу захисний бронезилет IV рівня захисту, захисного бронешолому III-A рівня захисту та апарата на стисненому повітрі типу Dräger 7000. Це було викликано тим, що важливою та нерозв'язаною частиною проблеми гуманітарного розмінування, є відсутність кількісних показників, що характеризують особливості оперативної діяльності піротехнічних підрозділів ДСНС в умовах радіаційного забруднення. Унікальність розглянутої ситуації полягає в тому, що тільки в Україні є необхідність такого розмінування. Аналіз отриманих результатів показав, що час виконання типових операцій описується нормальним розподілом незалежно від комбінації засобів індивідуального захисту, які використовуються. При цьому якщо час виконання типових операцій в комплекті захисного спорядження, до якого входить ізолюючий апарат, суттєво відрізняється від їх виконання в комплекті, до якого входить фільтрувальний протигаз, то час виконання в комплекті із респіратором класу ffr3 практично не відрізняється від часу виконання в комплекті із фільтрувальним протигазом.

**Ключові слова:** гуманітарне розмінування, радіаційне забруднення, сапер, засоби індивідуального захисту, закономірність, розподіл

### 1. Вступ

Під час виконання завдань з розмінування місцевості саперами піротехнічних відділень (розрахунків) ДСНС може виникнути необхідність в обстеженні території на вибухонебезпечні предмети (ВНП) в радіаційно-забрудненій місцевості. На цей час понад 95 % території зони відчуження Чорнобильської АЕС, в першу чергу в лісній місцевості, заміновано [1]. Мінування цієї території внаслідок збройної агресії військ Російської Федерації є предметом глибокого обговорення через його потенційні наслідки для здоров'я, навколишнього середовища та суспільства. Також це впливає і на соціальні аспекти. Забруднені території обмежують можливості розвитку та використання земель.

Не є виключеним і мінування Запорізької АЕС [2] або застосування російськими окупантами тактичної ядерної зброї [3]. Внаслідок цього, територія України, яка вже є забруднена ВНП та на якій проживає цивільне населення, може бути додатково забрудненою радіоактивними частинками.

Все це свідчить про актуальність проблеми гуманітарного розмінування в умовах радіаційного забруднення.

## 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Проблема гуманітарного розмінування в Україні розглядається багатьма авторами, але вони зосереджуються або на складнощах очистки сільськогосподарських земель [4], або на необхідності застопорити промисловість, в першу чергу будівельну галузь, через те, що українці не можуть попасти в безпечні місця як для проживання, так і для праці, що вимагає відповідної координації зусиль усіх владних структур [5]. При цьому питання гуманітарного розмінування на місцевості, яка має радіаційне забруднення, осталися поза увагою, хоча в [6] звертається увага на необхідність застосування нових методів оцінки та відстеження місця знаходження різних типів вибухонебезпечних предметів, а також зниження рівня небезпеки по всій території України (виділена зона відчуження Чорнобильської АЕС), а в [7] підкреслено, що застосування зброї вибухової дії наносить величезні збитки не тільки внаслідок знищення цивільної та промислової інфраструктури, довкілля, але й внаслідок нанесення значної екологічної шкоди. Але конкретних пропозицій в цих випадках не надається. В роботі [8] це зроблено, де, спираючись на [9], показано, що хоча підхід «не нашкодъ», як і раніше, добре підходить для пом'якшення прямих наслідків протимінної діяльності, обов'язково необхідно враховувати екологічні особливості території, яка вимагає гуманітарного розмінування, а також в [10], де підкреслена необхідність багатогранної праці за всіма можливими напрямками. Тим більше видно, що в усіх розглянутих роботах питання безпосередньої оперативної діяльності під час гуманітарного розмінування радіоактивно забрудненої місцевості не розглядаються.

В той же час, в [11] на прикладі аналізу проведення аварійно-рятувальних робіт в 2011 році на АЕС «Фукусіма-дайті» (АЕС) Токійської електроенергетичної компанії показана необхідність визначення закономірностей дій тих рятувальників, які безпосередньо працювали біля та в осередку надзвичайної ситуації. Але отримані результати практично неможливо використовувати для обґрунтування пропозицій щодо підвищення ефективності гуманітарного розмінування в радіаційно-забрудненій місцевості. Як і результати, які були наведені в [12], де основна увага приділяється визначенню закономірностей збору поранених, їх дезактивації, сортування та евакуації під час хімічних, біологічних, радіологічних, ядерних та вибухових подій, або [13], де розглядається вплив пожежно-рятувальних служб на поведінку учасників під час хімічних, біологічних, радіологічних і ядерних інцидентів. В той же час, дослідження [14], в якому розглядалися закономірності щодо оцінки готовності лікарів до хімічних, радіологічних та ядерних інцидентів, показало, що підготовка фахівців, особливо лікарів швидкої допомоги, повинна враховувати специфічні особливості навколишнього середовища надзвичайної ситуації.

Стосовно дій піротехнічних розрахунків ДСНС на сьогоднішній день в загальному випадку застосовується підхід розкриття закономірностей діяльності особового складу, який підтвердив свою ефективність і під час аналізу дій водолазів-саперів [15], і під час знешкодження малогабаритних вибухонебезпечних предметів з використанням спеціалізованих засобів колективного захисту [16]. Проте, не викликає сумнівів, що діяльність саперів піротехнічних відділень (розрахунку) ДСНС (далі – саперів) під час гуманітарного розмінування в радіаційно-забрудненій місцевості має свої закономірності, які можуть бути пов'язаними як з їх оснащенням засобами противибухового захисту, так й із засобами індивідуального захисту органів дихання та шкіри. Проте, враховуючи унікальність такої си-

туації, яка є притаманною тільки Україні, коли сапер повинен застосовувати як одну [17], так і другу групу засобів індивідуального захисту, раніше в світі не розглядалась, а без знання відповідних кількісних показників, які характеризують цю особливість діяльності особового складу рекомендації будуть носити тільки якісний характер.

Таким чином, важливою та нерозв'язаною частиною проблеми гуманітарного розмінування є відсутність кількісних показників, що характеризують особливості оперативної діяльності саперів піротехнічних відділень (розрахунку) ДСНС в умовах радіаційного забруднення.

### 3. Мета і завдання дослідження

Метою дослідження є порівняльний аналіз особливостей гуманітарного розмінування в умовах радіаційного забруднення в залежності від захисного спорядження саперів піротехнічних відділень (розрахунку) ДСНС.

Для досягнення поставленої мети потребують вирішення наступні завдання:

1. Визначити статистичні параметри особливостей діяльності саперів в різних засобах захисного спорядження під час гуманітарного розмінування в умовах радіаційного забруднення;
2. Провести порівняльний аналіз особливостей гуманітарного розмінування в умовах радіаційного забруднення в залежності від захисного спорядження саперів.

### 4. Матеріали та методи дослідження

Об'єкт дослідження – гуманітарне розмінування в умовах радіаційного забруднення.

Предмет дослідження – особливості гуманітарного розмінування в умовах радіаційного забруднення в залежності від захисного спорядження саперів.

Робоча гіпотеза полягала в тому, що результати порівняння статистичних показників, які характеризують особливості виконання типових операцій гуманітарного розмінування в умовах радіаційного забруднення саперами піротехнічних відділень ДСНС, дозволять зробити обґрунтований вибір комплексу засобів індивідуального захисту особового складу.

Метод дослідження – експериментальне виконання контрольної типової вправи саперами (зісмикування протитанкової міни ПТМ), що є характерною для гуманітарного розмінування в радіаційно-забрудненій місцевості, з подальшим порівнянням статистичних характеристик, які отримуються на ПК в середовищі Excel.

Підлягає дослідженню три різні варіанти використання комплексу засобів індивідуального захисту піротехніками піротехнічних розрахунків ДСНС (далі – піротехніками) за різних умов можливого радіаційного впливу:

варіант 1 – комбінація захисного костюма Л-1 (країна виробник – Україна), бронезахисту типу захисний бронежилет IV рівня захисту (країна виробник – Україна), захисний бронешолом III-A рівня захисту (країна виробник – Україна) та респіратору типу ЗМ 6200 ffp3 (країна виробник – Україна);

варіант 2 (рис. 1) – комбінація захисного костюма Л-1, бронезахисту типу захисний бронежилет IV рівня захисту, захисний бронешолом III-A рівня захисту та фільтрувального протигазу типу ГП-5 (країна виробник – Україна);

варіант 3 (рис. 2) – комбінація захисного костюма Л-1, бронезахисту типу захисний бронежилет IV рівня захисту, захисний бронешолом III-A рівня захисту та апарата на стисненому повітрі типу Dräger 7000 (країна виробник – Німеччина).



**Рис. 1. Варіант 2 захисту саперу, який передбачає використання фільтрувального протигазу**



**Рис. 2. Варіант 3 захисту саперу, який передбачає використання ізолюючого апарату**

У якості контрольної вправи було обрано «зісмикування вибухонебезпечного предмету». Її вибір пояснюється тим, що практика розмінування забрудненої вибухонебезпечними предметами місцевості після її звільнення від російських окупантів показала, що, навіть, на мирних територіях вони використовують підступну практику подвійного мінування, коли основна міна додатково мінується міною-ловушкою [18, 19].

В цьому випадку послідовність дій піротехніка має наступний вигляд:

- одягання захисного комплекту;
- у випадку здійснення варіанту 3 виконання оперативної перевірки апарата на стисненому повітрі;
- розгортання лінії з кішкою на відстань 50 м до протитанкової міни ПТМ та зачеплення (рис. 3) її кішкою;
- прямування (50 м) в укриття;
- зісмикування протитанкової міни ПТМ;
- очікування протягом 3 хв. (під час проведення експериментів даний пункт не враховувався);
- прямування до протитанкової міни ПТМ та фіксування результату.



Рис. 3. Зачеплення протитанкової міни

Також треба відмітити, що одягання захисного комплекту піротехнік здійснював за допомогою другої особи, а під час реалізації варіанту 3 апарат на стисненому повітрі одягався після надягання захисних комбінезона та куртки, маски, капюшону, захисних рукавиць та бронежилету, тоді відповідно варіанту 1 фільтруючий респіратор та захисні окуляри або варіанту 2 – фільтруючий протигаз одягався після захисних комбінезонів та куртки. В усіх випадках одягання захисного комплекту закінчувалось одяганням захисної каски з візором.

### 5. Визначення особливостей діяльності саперів в різних засобах захисного спорядження

Спочатку отримані результати (табл. 1), оскільки у кожному випадку використовувалися вибірки з об'ємом  $n = 20 < 30$ , були перевірені на нормальність розподілу за критерієм Шапіро-Уїлкі [20].

Для цього, наприклад, стосовно до варіанту 1 розмінування, коли операція зісмикування виконується в захисному комплекті із застосуванням респіратору типу ЗМ 6200 ffr3 (цей варіант розглядається більш докладно тому, що він характеризується найбільшим показником скошеності  $Skos_1 = 0,21$ ), спочатку були розраховані середнє значення часу виконання контрольної вправи:

$$\bar{t}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n t_{1i}}{n} = 508,65 \text{ с}, \quad (1)$$

де  $t_{1i}$  – час зісмикування ПТМ в  $i$ -му виконанні операції за варіантом 1, с;

середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (t_{1i} - \bar{t}_1)^2} = 56,63 \text{ с}, \quad (2)$$

та

$$n \cdot m_2 = \sum_{i=1}^n (t_{1i} - \bar{t}_1)^2 = 60934,55 \text{ с}^2, \quad (3)$$

де  $m_2$  – вибіркового центральний момент другого порядку.

Оскільки оцінки  $t_i$  є результатом обробки незалежних спостережень, вони були розташовані в порядку неспадання і позначені символами  $t_1, t_2, \dots, t_{n=20}$ . В табл. 2 приведена впорядкована серія отриманих значень часу виконання вправи за першим варіантом. Це дозволило обчислити проміжну суму  $S$  по формулі:

$$S = \sum_i^k a_{n-i+1} \cdot (t_{(n-i+1)} - t_i) = 243,26 \text{ с}, \quad (4)$$

де  $k$  – індекс, який має значення від 1 до  $n/2 = 12$ ;  $a_{n-i+1}$  – коефіцієнт, який має спеціальні значення для обсягу вибірки  $n$  (його значення, що наведені в табл. 2, взяті з табл.10 [20]).

**Табл. 1. Експериментальні результати [с] виконання контрольної вправи**

| Спроба    | Варіант розмінування |        |        |
|-----------|----------------------|--------|--------|
|           | 1                    | 2      | 3      |
| 1         | 478                  | 625    | 520    |
| 2         | 473                  | 546    | 542    |
| 3         | 563                  | 445    | 597    |
| 4         | 466                  | 487    | 614    |
| 5         | 466                  | 523    | 614    |
| 6         | 448                  | 535    | 654    |
| 7         | 618                  | 578    | 405    |
| 8         | 418                  | 457    | 448    |
| 9         | 546                  | 552    | 584    |
| 10        | 553                  | 572    | 799    |
| 11        | 515                  | 458    | 559    |
| 12        | 604                  | 500    | 574    |
| 13        | 546                  | 551    | 555    |
| 14        | 558                  | 567    | 652    |
| 15        | 445                  | 556    | 593    |
| 16        | 428                  | 402    | 592    |
| 17        | 517                  | 516    | 557    |
| 18        | 534                  | 472    | 656    |
| 19        | 514                  | 433    | 440    |
| 20        | 483                  | 498    | 641    |
| $\bar{t}$ | 508,65               | 513,65 | 579,80 |
| $\sigma$  | 56,63                | 57,08  | 87,47  |
| Skos      | 0,21                 | -0,15  | 0,12   |

У табл. 11 [20] для рівня значимості  $\alpha=0,05$  та  $n=20$  дає значення  $W_{\text{табл}} = 0,905$ .

Оскільки

$$W = \frac{S^2}{n \cdot m} = \frac{59174,02}{60934,55} = 0,97 \geq W_{\text{табл}} = 0,905, \quad (5)$$

розподіл у відповідності до [20] вважається нормальним.

**Табл. 2. Упорядкована серія отриманих значень часу розмінування за варіантом 1**

| k              | $t_{(20-k+1)}, c$ | $t_k, c$ | $t_{(20-k+1)} - t_k, c$ | $a_{n-k+1}$ | $a_{n-k+1} \cdot (t_{(20-k+1)} - t_k)$ |
|----------------|-------------------|----------|-------------------------|-------------|--|
| 1              | 618,0             | 418      | 200,00                  | 0,4493      | 89,86                                  |
| 2              | 604,0             | 428      | 176,00                  | 0,3098      | 54,5248                                |
| 3              | 563,0             | 445      | 118,00                  | 0,2554      | 30,1372                                |
| 4              | 558,0             | 448      | 110,00                  | 0,2145      | 23,595                                 |
| 5              | 553,0             | 466      | 87,00                   | 0,1807      | 15,7209                                |
| 6              | 546,0             | 466      | 80,00                   | 0,1512      | 12,096                                 |
| 7              | 546,0             | 473      | 73,00                   | 0,1245      | 9,0885                                 |
| 8              | 534,0             | 478      | 56,00                   | 0,0997      | 5,5832                                 |
| 9              | 517,0             | 483      | 34,00                   | 0,0764      | 2,5976                                 |
| 10             | 515,0             | 514      | 1,00                    | 0,0539      | 0,0539                                 |
| S              |                   |          |                         |             | 243,26                                 |
| S <sup>2</sup> |                   |          |                         |             | 60934,50                               |

Оскільки

$$W = \frac{S^2}{n \cdot m^2} = \frac{166716}{172753} = 0,965 \geq W_{\text{табл}} = 0,905, \quad (6)$$

розподіл у відповідності до [20] вважається нормальним.

Розрахунки у відповідності до (2–5) були виконані й для інших показників діяльності газодимозахисників, які були обрані для розгляду. В узагальненому вигляді вони наведені в табл. 3.

Розрахунки у відповідності до (2–5) були виконані й для двох інших варіантів виконання контрольної вправи. В узагальненому вигляді вони наведені в табл. 3. Видно, що в усіх випадках розподіли з рівнем значимості  $\alpha=0,05$  можуть вважатись нормальними.

**Табл. 3. Узагальнені результати перевірки нормальності розподілів**

|                   | Варіант 1 | Варіант 2 | Варіант 3 |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|
| $\bar{t}$         | 508,65    | 513,65    | 579,80    |
| $\sigma$          | 56,63     | 57,08     | 87,47     |
| W                 | 0,965     | 0,983     | 0,914     |
| $W_{\text{табл}}$ | 0,905     | 0,905     | 0,905     |

Таким чином, результати статистичного оцінювання експериментальних результатів, які були отримані в процесі здійснення контрольної вправи, яка відображає реальну оперативну діяльність піротехніків під час гуманітарного розмінування в умовах радіаційного забруднення навколишнього середовища при рівні значимості  $\alpha=0,05$  описуються нормальним розподілом незалежно від комбінації тих засобів індивідуального захисту, в яких вони працюють.

## 6. Порівняльний аналіз особливостей гуманітарного розмінування в умовах радіаційного забруднення

Наявність оцінок математичних очікувань і середньоквадратичних відхилень часу виконання контрольної завдання, яке є типовим під час гуманітарного розмінування в умовах радіаційного забруднення, в різних варіантах захисного спорядження саперів дозволило виконати перевірку того, наскільки значимо різняться середні значення (рис.4), отримані по незалежних вибірках дослідження, використовуючи t-критерій Стьюдента [21].

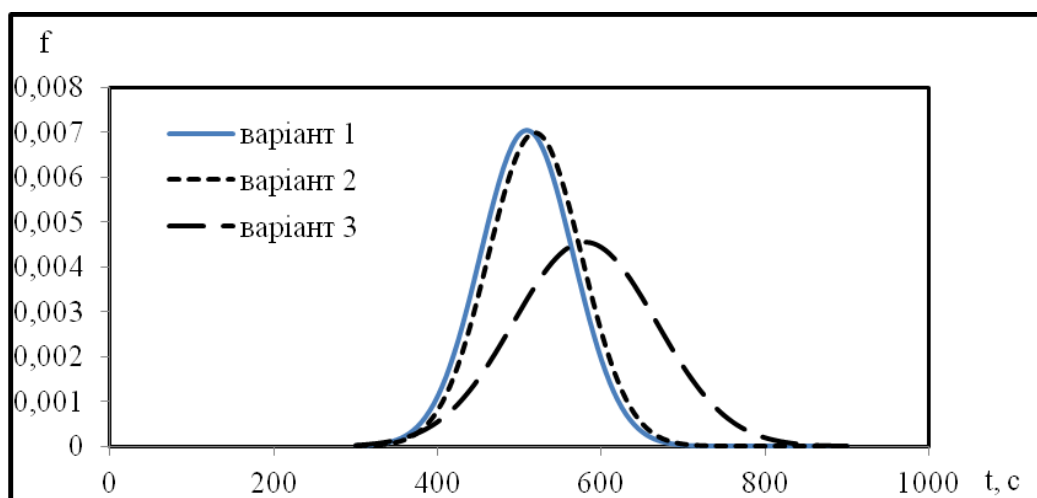


Рис. 4. Розподіли часу виконання контрольної вправи, яка є типовою для процесу гуманітарного розмінування в умовах радіаційного забруднення, в різних варіантах захисного спорядження

Для цього у випадку, наприклад, для ситуацій, коли порівнюється загальний час виконання контрольної вправи за першим та другим варіантами, розглядалась гіпотеза:

$$H_0 : \bar{t}(1) = \bar{t}(2), \quad (7)$$

та її альтернатива:

$$H_1 : \bar{t}(1) \neq \bar{t}(2), \quad (8)$$

яка доводить відмінність середніх значень.

З метою вибору конкретної методики розрахунку t-критерію [21] спочатку була перевірена гіпотеза про рівність дисперсій. У якості критерію для перевірки нуль-гіпотези:

$$H_0 : \sigma^2(1) = \sigma^2(2) \quad (9)$$

був обраний F-критерій:

$$F = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} = \frac{3258,45}{3207,08} = 1,02, \quad (10)$$

де  $\sigma_1^2$  – більша з оцінок дисперсій в двох вибірках.



При цьому критичне значення  $F_{кр}$ , яке при рівні значимості  $\alpha=0,05$  та числі ступенів свободи:

$$v_1 = n_1 - 1 = 19, \quad v_2 = n_2 - 1 = 19, \quad (11)$$

де  $n_1 = n_2 = 20$  – кількість вправ, які виконувались під час проведення експериментів за першим та другим варіантами виконання контрольного завдання, дорівнює [22]

$$F_{кр} = F_{табл} = 2,15. \quad (12)$$

Видно, що в розглянутому випадку правомірною визнається нуль-гіпотеза (9) та допускається рівність дисперсій часу виконання контрольної справи за першим та другим варіантом.

Розрахунки у відповідності до (9–12) були виконані й для порівняння дисперсій за другим та третім варіантами. В узагальненому вигляді результати оцінювання критерію Фішера наведені в табл. 4. Її аналіз показує, що для розрахунку критерію Стьюдента необхідно використовувати різні методики [21]. Це викликано тим, що у випадку порівняння дисперсій розподілу часу виконання контрольної вправи за другим та третім варіантами,

$$F(2-3) = 2,35 > F_{кр} = 2,15, \quad (13)$$

що свідчить про те, що з рівнем значимості  $\alpha=0,05$  можна стверджувати про те, що ці дисперсії розрізняються суттєво.

**Табл. 4. Узагальнені результати порівняння дисперсій**

|          | F(1-2)                            | F(2-3)                      |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------|
|          | 1,02                              | 2,35                        |
| $F_{кр}$ | 2,15                              |                             |
| Висновок | $\sigma^2(1) \approx \sigma^2(2)$ | $\sigma^2(2) < \sigma^2(3)$ |

Виходячи з табл. 4 під час порівняння математичних очікувань виконання контрольної вправи за варіантами 1 та 2 стандартна помилка різниці  $S_{1-2}$ , з урахуванням того, що вибірки малого розміру ( $<30$ ), та число ступенів свободи  $v$  при обчисленні t-критерію розраховуються [21] наступним чином:

$$S_{1-2} = \sqrt{\frac{(n_1 - 1) \cdot \sigma_1^2 + (n_2 - 1) \cdot \sigma_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \cdot \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)} = \quad (14)$$

$$= \sqrt{\frac{(20 - 1) \cdot 3207,08 + (20 - 1) \cdot 3258,45}{20 + 20 - 2} \cdot \left( \frac{1}{20} + \frac{1}{20} \right)} = 17,98;$$

$$v = n_{л}(п) + n_{л}(к) - 2 = 38. \quad (15)$$

В результаті:

$$t_{\text{набл}} = \frac{|\bar{t}(1) - \bar{t}(2)|}{S_{1-2}} = \frac{|508,65 - 513,65|}{17,98} = 0,28. \quad (16)$$

Оскільки

$$t_{\text{набл}} = 0,28 < t_{\text{табл}}(\alpha = 0,05) = 2,15, \quad (17)$$

можна говорити, що при рівні значимості  $\alpha=0,05$  результати часу виконання першої та другої контрольної вправ відрізняються несуттєво.

Для порівнювання середніх значень виконання другої та третьої контрольних вправ стандартна помилка різниці  $S_{2-3}$  і число ступенів свободи  $\nu$  при обчисленні t-критерію були розраховані наступним чином:

$$S_{2-3} = \sqrt{\frac{\sigma_2^2}{n_2} + \frac{\sigma_3^2}{n_3}} = 23,36, \quad (18)$$

$$\nu = \frac{\left(\frac{\sigma_2^2}{n_2} + \frac{\sigma_3^2}{n_3}\right)^2}{\frac{\sigma_2^4}{n_2^2 \cdot (n_2 - 1)} + \frac{\sigma_3^4}{n_3^2 \cdot (n_3 - 1)}} = 32,70. \quad (19)$$

В результаті:

$$t_{\text{набл}} = \frac{|\bar{t}_2 - \bar{t}_3|}{S_{2-3}} = \frac{|513,65 - 579,80|}{23,36} = 2,83 > t_{\text{табл}}(\alpha = 0,05) = 2,04, \quad (20)$$

тобто, значення t-критерію  $t_{\text{набл}}$  більше критичного значення t-критерію  $t_{\text{табл}}$  при заданому рівні значимості  $\alpha=0,05$  і числі ступенів свободи  $\nu$ . Це говорить про те, що на рівні значимості  $\alpha$  (ймовірність похибки менше 5 %) можна прийняти гіпотезу  $H_0$ . Отже, відмінність математичних очікувань часу виконання контрольної вправи між другим та третім варіантами є значимою.

Таким чином, порівняльний аналіз закономірностей гуманітарного розмінування в умовах радіаційного забруднення в залежності від захисного спорядження саперів показав, що, якщо час виконання типових операцій в комплекті захисного спорядження, до якого входить апарат на стисненому повітрі, суттєво (із рівнем значимості  $\alpha=0,05$ ) відрізняється від їх виконання в комплекті, до якого входить фільтрувальний протигаз, то час виконання в комплекті із респіратором класу ffr3 практично не відрізняється (на рівні значимості  $\alpha=0,05$ ) від часу виконання в комплекті із фільтрувальним протигазом.

## 7. Обговорення результатів визначення особливостей гуманітарного розмінування в умовах радіаційного забруднення

Внаслідок мінування російськими окупантами більшості зони відчуження Чорнобильської АЕС, можливого мінування Запорізької АЕС або застосування

ними тактичної ядерної зброї, в Україні має місце унікальна ситуація, яка ніколи і ніде в світі не розглядалась, необхідність гуманітарного розмінування в умовах радіаційного забруднення. Підвищення ефективності цього процесу вимагає знання кількісних показників, що характеризують особливості діяльності саперів в комплексі індивідуального захисту, який одночасно включає і засоби бронезахисту і засоби захисту органів дихання та шкіри.

Результати статистичного оцінювання отриманих експериментальних результатів дозволяють стверджувати, що з рівнем значимості  $\alpha=0,05$  особливістю виконання типових вправ саперами під час гуманітарного розмінування в радіаційно-забрудненій місцевості є нормальний розподіл часу їх виконання незалежно від комбінації тих засобів індивідуального захисту, в яких вони працюють. Це пояснюється тим, що кожна вправа вимагає послідовного виконання різноманітних операцій. І незалежно від розподілу часу їх виконання у відповідності до центральної граничної теореми [23] закон розподілу типової вправи повинен бути нормальним.

З урахуванням того, що аналогічні дослідження стосовно визначення особливостей гуманітарного розмінування в умовах радіаційного забруднення ніде і ніколи не проводились, вперше було визначено статистичні характеристики розподілів часу виконання типової вправи («зісмикування протитанкової міни ПТМ»). Результати порівняльного аналізу отриманих показників дозволяють стверджувати, що якщо час виконання типових операцій в комплекті захисного спорядження, до якого входить ізолюючий апарат захисту органів дихання, суттєво (із рівнем значимості  $\alpha=0,05$ ) відрізняється від їх виконання в комплекті, до якого входить фільтрувальний протигаз, то час виконання в комплекті із респіратором класу ffr3 практично не відрізняється (на рівні значимості  $\alpha=0,05$ ) від часу виконання в комплекті із фільтрувальним протигазом.

Сильною стороною отриманих результатів є визначення достовірних показників (з рівнем значимості  $\alpha=0,05$ ), які можуть бути основою для обґрунтування конкретних пропозицій щодо організації робіт з гуманітарного розмінування в умовах радіаційного забруднення, вибору засобів індивідуального захисту, обґрунтування тактико-технічних вимог до них як на етапі створення, так і на етапі придбання, визначення особливостей підготовки саперів. Так, видно, що не має сенсу займатись подальшими дослідженнями особливостей відповідної діяльності саперів в респіраторах класу ffr3, оскільки кожний з них має індивідуально закріплений фільтрувальний. З урахуванням виконання більшості робіт з гуманітарного розмінування в умовах радіаційного впливу на відкритій місцевості, основну увагу під час подальших досліджень доцільно приділити визначенню оперативно-технічних рекомендацій щодо підвищення ефективності відповідної оперативної діяльності в комплексах індивідуального захисту сапера, до складу яких входять фільтрувальні протигazi.

Одночасно необхідно відмітити, що застосування обраного підходу в практичній діяльності супроводжується трудомісткістю проведення експериментальних досліджень, результати яких є основою для науково-обґрунтованих рішень щодо підвищення ефективності дій особового складу піротехнічних підрозділів ДСНС в радіаційно-забрудненій місцевості, оскільки для здійснення цього процесу необхідно залучити висококваліфікованих спеціалістів, які одночасно мають знання та навички як в практиці розмінування та іншої оперативної діяльності в умовах радіаційного забруднення, так і в організації експериментальних досліджень таким чином, щоб були отримані статистично значимі результати, на яких будуть ґрунтуватись відповідні практичні рекомендації. В перспективі цей недолік може бути усунений шляхом коригування вже отриманих статистичних показників у від-

повідності до нових вихідних даних, що пов'язані зі зміною складових комплексу засобів індивідуального захисту, рівня підготовленості саперів, умов надзвичайної ситуації із застосуванням, наприклад, методу безпосередніх експертних оцінок.

Розвиток даного дослідження полягає в тому, що визначення особливостей кількісних показників, які характеризують виконання типових операцій гуманітарного розмінування в умовах радіаційного забруднення з рівнем значимості  $\alpha=0,05$ , дозволяє використовувати їх у якості вихідних даних для імітаційних моделей попередження надзвичайних ситуацій, пов'язаних з розташуванням вибухонебезпечних предметів в радіаційно-забрудненій місцевості. Труднощами, з якими можна зіткнутися в подальшому в цьому випадку, буде отримання відповідних вихідних даних щодо нових операцій, статистичні характеристики яких потрібно отримати для здійснення імітаційного моделювання різноманітних варіантів здійснення процесу гуманітарного розмінування.

## 8. Висновки

1. Результати статистичного оцінювання експериментальних результатів, які були отримані в процесі здійснення контрольної вправи («зісмикування протитанкової міни ПТМ») із застосуванням трьох різних можливих варіантів використання комплекту засобів індивідуального захисту піротехніками піротехнічних розрахунків ДСНС за різних умов можливого радіаційного впливу), яка відображає реальну оперативну діяльність саперів під час гуманітарного розмінування в умовах радіаційного забруднення навколишнього середовища при рівні значимості  $\alpha=0,05$  описуються нормальним розподілом незалежно від комбінації тих засобів індивідуального захисту (захисного костюму Л-1, бронезахисту типу захисний бронезилет ІV рівня захисту, захисний бронешолом ІІІ-А рівня захисту та засобу індивідуального захисту органів дихання), в яких вони працюють, з відповідними параметрами, які міняються в залежності від засобу індивідуального захисту органів дихання: у разі використання респіратору типу ЗМ 6200 ffr3 математичне очікування часу виконання операції  $\bar{t}_1=508,65$  с, середньоквадратичне відхилення  $\sigma_1=56,63$  с; фільтрувального протигазу типу ГП-5– $\bar{t}_2=513,65$  с,  $\sigma_2=57,08$  с; апарата на стисненому повітрі типу Dräger 7000– $\bar{t}_3=579,80$  с,  $\sigma_3=87,47$  с.

2. Порівняльний аналіз закономірностей гуманітарного розмінування в умовах радіаційного забруднення в залежності від захисного спорядження саперів показав, якщо час виконання типових операцій в комплекті захисного спорядження, до якого входить апарат на стисненому повітрі (комбінація захисного костюма Л-1, бронезахисту типу захисний бронезилет ІV рівня захисту, захисний бронешолом ІІІ-А рівня захисту та апарата на стисненому повітрі типу Dräger 7000), суттєво (із рівнем значимості  $\alpha=0,05$ ) відрізняється від їх виконання в комплекті, до якого входить фільтрувальний протигаз (комбінація захисного костюма Л-1, бронезахисту типу захисний бронезилет ІV рівня захисту, захисний бронешолом ІІІ-А рівня захисту та фільтрувального протигазу типу ГП-5), то час виконання в комплекті із респіратором класу ffr3 (комбінація захисного костюма Л-1, бронезахисту типу захисний бронезилет ІV рівня захисту, захисний бронешолом ІІІ-А рівня захисту та респіратору типу ЗМ 6200 ffr3) практично не відрізняється (на рівні значимості  $\alpha=0,05$ ) від часу виконання в комплекті із фільтрувальним протигазом. З урахуванням цього дослідженнями особливостей відповідної діяльності саперів в респіраторах класу ffr3 займатись не має сенсу. Основну увагу під

час подальших досліджень доцільно приділити обґрунтуванню оперативнотехнічних рекомендацій щодо діяльності саперів в комплексах індивідуального захисту сапера, до складу яких входять фільтрувальні протигази.

### Література

1. Ukrinform. Понад 95 % території зони відчуження ЧАЕС може бути замінено. Укрінформ - актуальні новини України та світу. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-society/3701184-ponad-95-teritorii-zoni-vidcuzenna-caes-moze-buti-zaminovano.html>

2. Хотин Р. Перестраховатись від «другого Чорнобиля» та «мавп із гранатами». Що треба знати про «теракт» на Запорізькій АЕС?. Радіо Свобода. URL: <https://www.radiosvoboda.org/a/ukrayina-zaporizka-aes-rosiya-yadernyy-terakt-shcho-treba-znati/32472691.html>

3. Гудкова С. Загроза застосування тактичної ядерної зброї: чи зважиться Путін на удар. RFI. URL: <https://goo.su/Matc>

4. Schindler M., Connell A. «Mine Action and Food Security: The Complexities of Clearing Ukraine's Agricultural Lands». The Journal of Conventional Weapons Destruction. 2023. Vol. 27. Iss. 2. Article 3. URL: <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol27/iss2/3>

5. Crowther G. «Ukraine: Coordinating the Reponse». The Journal of Conventional Weapons Destruction. 2022. Vol. 25. Iss. 3. Article 3. URL: <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol25/iss3/3>

6. Mathewson A. «Open-Source Research and Mapping of Explosive Ordnance Contamination in Ukraine». The Journal of Conventional Weapons Destruction. 2022. Vol. 26. Iss. 1. Article 3. URL: <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol26/iss1/3>

7. Cottrell L., Darbyshire E., Holme Obrestad K. «Explosive Weapons Use and the Environmental Consequences: Mapping Environmental Incidents in Ukraine». The Journal of Conventional Weapons Destruction. 2022. Vol. 26. Iss. 1. Article 4. URL: <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol26/iss1/4>

8. Chrystie E. «Environmental Mainstreaming in Mine Action: A Case Study of Moving Beyond «Do No Harm»». The Journal of Conventional Weapons Destruction. 2022. Vol. 27. Iss. 2. Article 5. URL: <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol27/iss2/5>

9. n/a, Anonymous. «Developing National Landmine Clearance Capacity in Ukraine». The Journal of Conventional Weapons Destruction. 2021. Vol. 25. Iss. 1. Article 9. URL: <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol25/iss1/9>

10. Mori K. Occupational health in disasters: Valuable knowledge gained from experience with the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. Journal of Occupational Health. 2019. T. 61. № 6. С. 429–430. doi: 10.1002/1348-9585.12084

11. Hignett S., Hancox G., Edmunds O. M. «Chemical, biological, radiological, nuclear and explosive (CBRNe) events: Systematic literature review of evacuation, triage and decontamination for vulnerable people». International Journal of Emergency Services. 2019. Vol. 8. № 2. P. 175–190. doi: 10.1108/IJES-05-2018-0030

12. Long F., Bateman G., Majumdar A. «The impact of fire and rescue service first responders on participant behaviour during chemical, biological, radiological and nuclear (CBRN)/Hazmat incidents». International Journal of Emergency Services. 2020. Vol. 9. № 3. P. 283–298. doi: 10.1108/IJES-06-2019-0027

13. Long F. Bateman G., Majumdar A. «The impact of fire and rescue service first responders on participant behaviour during chemical, biological, radiological and

nuclear (CBRN)/Hazmat incidents». *International Journal of Emergency Services*. 2020. Vol. 9. № 3. P. 283–298. doi: 10.1108/IJES-06-2019-0027

14. Gyllencreutz L., Carlsson C.-P., Karlsson S. and Hedberg P. «Preparedness for chemical, radiologic and nuclear incidents among a sample of emergency physicians' and general practitioners'—a qualitative study». *International Journal of Emergency Services*. 2023. Vol. 12. № 2. P. 161–170. doi: 10.1108/IJES-07-2022-0032

15. Соловійов І. І., Стецюк Є. І., Стрілець В.М. Закономірності розходу повітря під час підводного розмінування водних акваторій. Збірка наукових праць «Проблеми надзвичайних ситуацій». Харків: НУЦЗ України, 2020. Вип. 2(32). С. 132–144. doi: 10.5281/zenodo.4400181

16. Lyovin D., Strelets V., Shevchenko R., Loboichenko V., Divizinyuk M., Strelets V. and Pruskyi A. «A dataset on the features of the elimination of explosive objects using a dome-shaped protective device with a load». *Data in Brief*. Vol. 50. October 2023. 109602. doi: 10.1016/j.dib.2023.109602

17. Про затвердження Правил радіаційної безпеки при проведенні робіт у зоні відчуження і зоні безумовного (обов'язкового) відселення: наказ Міністерство охорони здоров'я України, Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи від 04.04.2008 № 179/276: станом на 12 вересня 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0754-08#Text>

18. Рашисти почали робити вкрай небезпечні міні-пастки: чого не треба робити за будь-яких умов | Defense Express. Військовий портал Defense Express - все про військову справу. URL: [https://defence-ua.com/weapon\\_and\\_tech/vorog\\_pochav\\_robity\\_vkraj\\_nebezpechni\\_mini\\_pastki\\_chogo\\_ne\\_treba\\_robity\\_za\\_bud\\_jakih\\_umov-6660.html](https://defence-ua.com/weapon_and_tech/vorog_pochav_robity_vkraj_nebezpechni_mini_pastki_chogo_ne_treba_robity_za_bud_jakih_umov-6660.html)

19. Войтюк Т. Російські військові залишають міні-пастки – ДСНС. Суспільне. Новини. URL: <https://suspilne.media/360296-rosijski-vijskovi-zalisaut-mini-pastki-dsns/>

20. ДСТУ ISO 5479:2009. Статистичне опрацювання даних. Критерії відхилення від нормального розподілу (ISO 5479:1997, IDT). Чинний від 01.07.2011. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2009. 34 с.

21. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений – Главная редакция физ.-мат. литературы издательства «Наука», 1971. 576 с.

22. Халафян А. А. STATISTICA: Статистический анализ данных. 000 «Бином-Пресс», 2007. 512 с.

23. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. Наука, 1962. 564 с.

*S. Stepanchuk<sup>1</sup>, Senior Lecture of the Department*

*V. Strelets<sup>1</sup>, DSc, Professor, Senior Lecture of the Department*

*Y. Makarov<sup>1</sup>, PhD, Lecturer of the Department*

*V. Strelets<sup>2</sup>, PhD, Supervisor EORE*

<sup>1</sup>*National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine*

<sup>2</sup>*International Humanitarian Organization The Halo Trust, Kyiv, Ukraine*

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE REGULATIONS OF HUMANITARIAN DEMINING IN A RADIATION-CONTAMINATED AREA

A comparative analysis of the regularities of the implementation of a control typical operation of humanitarian demining in a radiation-contaminated area was carried out by comparing the time of implementation of the method of jerking an anti-tank mine, which is located at a distance of 50 meters from the shelter, where the sapper is located during the execution of the most dangerous stage, in three different options for the use of a complex of means individual protection by sappers of the State Emergency Service of Ukraine under various conditions of possible radiation exposure: a combination of a  
Civil Security. DOI: 10.52363/2524-0226-2023-38-14

protective suit L-1, armor protection of the type of protective body armor of the IV level of protection, a protective armor helmet of the level of protection III-A, and a respirator of the type ZM 6200 ffp3; a combination of L-1 protective suit, armor protection of the IV level of protection type protective body armor, III-A level of protection armor helmet, and GP-5 type filter gas mask; a combination of L-1 protective suit, armor protection type IV protective vest, III-A protective helmet, and compressed air apparatus Dräger 7000. This was caused by the fact that an important and unsolved part of the problem of humanitarian demining is the lack of regularities in the operational activity of sappers of the State Emergency Service in conditions of radiation contamination. The uniqueness of the considered situation is that only in Ukraine there is a need for humanitarian demining of radiation-contaminated area. The analysis of the obtained regularities showed that the time of execution of typical operations of the considered process is described by a normal distribution regardless of the combination of personal protective equipment in which sappers work. At the same time, if the time of performing typical operations in a set of protective equipment, which includes an isolating device, differs significantly from their performance in a set that includes a filtering gas mask, then the time of performing it in a set with a respirator of class ffp3 is practically no different from the time of performing it in a set with filter gas mask.

**Keywords:** humanitarian demining, radiation contamination, sapper, personal protective equipment, regularity, distribution

### References

1. Ukrinform. (2023). More than 95 % of the territory of the exclusion zone of the Chernobyl Nuclear Power Plant can be replaced. Ukrinform - current news of Ukraine and the world. Available at: <https://www.ukrinform.ua/rubric-society/3701184-ponad-95-teritorii-zoni-vidcuzenna-caes-moze-buti-zaminovano.html>
2. Khotyn, R. (2023). Insure yourself against the «second Chernobyl» and «monkeys with grenades». What should be known about the «terrorist attack» at the Zaporizhzhia NPP?. Radio Svoboda. Available at: <https://www.radiosvoboda.org/a/ukrayina-zaporizka-aes-rosiya-yadernyy-terakt-shcho-treba-znaty/32472691.html>
3. Gudkova, S. (2023). The threat of using tactical nuclear weapons: will Putin decide to strike.RFI. Available at: <https://goo.su/Matc>
4. Schindler, M., Connell, A. (2023). «Mine Action and Food Security: The Complexities of Clearing Ukraine's Agricultural Lands». The Journal of Conventional Weapons Destruction, 27, 2, 3. Available at: <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol27/iss2/3>
5. Crowther, G. (2022). Quot; Ukraine: Coordinating the Reponse, & quot. The Journal of Conventional Weapons Destruction, 25, 3, 3. Available at: <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol25/iss3/3>
6. Mathewson, A. (2022). «Open-Source Research and Mapping of Explosive Ordnance Contamination in Ukraine». The Journal of Conventional Weapons Destruction, 26, 1, 3. Available at: <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol26/iss1/3>
7. Cottrell, L., Darbyshire, E., Holme, O. K. (2022). «Explosive Weapons Use and the Environmental Consequences: Mapping Environmental Incidents in Ukraine». The Journal of Conventional Weapons Destruction, 26, 1, 4. Available at: <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol26/iss1/4>
8. Chrystie, E. (2023). «Environmental Mainstreaming in Mine Action: A Case Study of Moving Beyond «Do No Harm»». The Journal of Conventional Weapons Destruction, 27, 2, 5. Available at: <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol27/iss2/5>
9. n/a, Anonymous. (2021). «Developing National Landmine Clearance Capacity in Ukraine». The Journal of Conventional Weapons Destruction, 25, 1, 9. Available at: <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol25/iss1/9>
10. Koji, Mori. 2019. «Occupational health in disasters: Valuable knowledge gained from experience with the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident».

Journal of Occupational Health, 61, 6, 429–430. doi: 10.1002/1348-9585.12084

11. Hignett, S., Hancox, G., Edmunds, Otter, M. (2019). «Chemical, biological, radiological, nuclear and explosive (CBRNe) events: Systematic literature review of evacuation, triage and decontamination for vulnerable people». *International Journal of Emergency Services*, 8, 2, 175–190. doi: 10.1108/IJES-05-2018-0030

12. Long, F., Bateman, G., Majumdar, A. (2020). «The impact of fire and rescue service first responders on participant behaviour during chemical, biological, radiological and nuclear (CBRN)/Hazmat incidents». *International Journal of Emergency Services*, 9, 3, 283–298. doi: 10.1108/IJES-06-2019-0027

13. Long, F., Bateman, G., Majumdar, A. (2020). «The impact of fire and rescue service first responders on participant behaviour during chemical, biological, radiological and nuclear (CBRN)/Hazmat incidents». *International Journal of Emergency Services*, 9, 3, P. 283–298. doi: 10.1108/IJES-06-2019-0027

14. Gyllencreutz, L., Carlsson, C.-P., Karlsson, S., Hedberg, P. (2023). «Preparedness for chemical, radiologic and nuclear incidents among a sample of emergency physicians' and general practitioners'—a qualitative study». *International Journal of Emergency Services*, 12, 2, 161–170. doi: 10.1108/IJES-07-2022-0032

15. Solovyov, I. I., Stetsyuk, E. I., Strelets, V. M. (2020). «Patterns of air consumption during underwater demining of water areas». *Problems of emergency situations*, 132–144. doi: 10.5281/zenodo.4400181

16. Lyovin, D., Strelets, V., Shevchenko, R., Loboichenko V., Divizinyuk, M., Strelets, V., Pruskyi, A. (2023). «A dataset on the features of the elimination of explosive objects using a dome-shaped protective device with a load», *Data in Brief*, 50, 109602. doi: 10.1016/j.dib.2023.109602

17. Law of Ukraine. (2008). «On the approval of the Radiation Safety Rules when carrying out work in the exclusion zone and the zone of unconditional (mandatory) resettlement», 179/276. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0754-08#Text>

18. Tuka, G. (2022) Trap mine or surprise mine - simple rules that save lives. *Defense Express* Available at: [https://defence-ua.com/weapon\\_and\\_tech/vorog\\_pochav\\_robity\\_vkraj\\_nebezpechni\\_mini\\_pastki\\_chogo\\_ne\\_treba\\_robity\\_za\\_bud\\_jakih\\_u\\_mov-6660.html](https://defence-ua.com/weapon_and_tech/vorog_pochav_robity_vkraj_nebezpechni_mini_pastki_chogo_ne_treba_robity_za_bud_jakih_u_mov-6660.html)

19. Voytiuk, T. (2023). The Russian military leaves landmines - DSNS. Public. Available at: <https://suspilne.media/360296-rosijski-vijskovi-zalisaut-mini-pastki-dsns/>

20. Statystychni opratsiuvannia danykh. Katehorii vidkhylenia vid normalnoho rozpodilu [Statistical interpretation of data – Tests for departure from the normal distribution]. (2009). DSTU ISO 5479:2009(ISO 5479:1997, IDT) from 1st July 2011. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy, 34.

21. Mitropol'skij, A. (1971). *Tekhnika statystychnykh obchyslen* [The technique of statistical calculations]. Nauka, 576.

22. Khalafyan, A. (2007). *STATISTICA 6 Statystychnyi analiz danykh*. Binom-Press, 512.

23. Venttsel, E. (1962). *Teoriya veroyatnostey* [Probability theory]. Nauka, 564.

Надійшла до редколегії: 25.09.2023

Прийнята до друку: 14.11.2023