УДК 313.86

П. Ю. Бородич, *к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0001-9933-8498)*
В. М. Покалюк, *док.пед.н., доцент, нач. каф. (ORCID 0000-0001-8706-7096)*
О. В. Черкашин, *к.пед.н., доцент, заст. нач. каф. (ORCID 0000-0003-3383-7803)*
К. В. Чурило, *курсант (ORCID 0009-0003-6233-9982)*
Національний університет цивільного захисту України, Черкаси, Україна

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ НОРМАТИВІВ ОПЕРАТИВНОГО РОЗГОРТАННЯ УСТАНОВКИ НАГНІТАЧА ПОВІТРЯ

Розроблена імітаційна модель оперативного розгортання номерів розрахунку пожежно-рятувального автомобіля з установкою нагнітача повітря. Імітаційне моделювання проводилося з використання мережевої моделі. Проведені розрахунки математичного очікування та середньоквадратичного відхилення кожної окремої операції оперативного розгортання номерів розрахунку пожежно-рятувального автомобіля з установкою нагнітача повітря дозволили провести аналіз запропонованої моделі та визначити критичний шлях. Критичним в імітаційній моделі оперативного розгортання з установкою нагнітача повітря є шлях дій рятувальника № 2 та рятувальника № 3, які фактично всі дії виконують разом, лише на при кінці рятувальника № 2 має невеликий зазор часу тобто на рятувальнику № 3 буде найбільша затримка часу. Розроблено науково обґрунтовані нормативи оперативного розгортання номерів розрахунку пожежно-рятувального автомобіля з установкою нагнітача повітря, в яких для визначення середньозважених оцінок відповідних часток можливих результатів був використаний метод експертної оцінки. Встановлено, що для обґрунтування шуканих нормативних оцінок необхідно визначити зворотну функцію стандартного нормального розподілу з урахуванням як його параметрів (математичного очікування та середньоквадратичного відхилення часу здійснення оперативного розгортання), так і ймовірності отримання відповідних оцінок у вигляді середньозважених оцінок відповідних часток всіх можливих результатів, які попадають в інтервали між шуканими нормативними оцінками. Щоб зменшити вплив некомпетентних експертів на підсумкову оцінку, був використаний метод визначення усередненої оцінки експертів, в основі якого лежить середньозважене значення тих оцінок, які надали експерти. Проведено апробацію запропонованих нормативів оперативного розгортання з установкою нагнітача повітря як в захисному одязі, так і додатково в засобах бронезахисту.

Ключові слова: мережева модель, критичний шлях, нагнітач повітря, норматив, метод експертної оцінки

1. Вступ

Гасіння пожеж в житлових будинках або в закладах з масовим перебуванням людей ускладняється сильним задимленням приміщень та маршових сходів, що в свою чергу несе загрозу отруєнню та загибелі людей, які в них знаходяться. Для захисту людей від впливу непридатного для дихання середовища існують індивідуальні (саморятівники, дихальні капюшони) та колективні (димососи та нагнітачі повітря) засоби захисту органів дихання. При великій кількості постраждалих індивідуальних засобів захисту органів дихання не вистачить, тому що саморятівниками або рятувальними пристроями (капюшонами) оснащена ланка ГДЗС з розрахунку лише один на ланку. В цьому випадку ефективним буде використання колективних засобів захисту органів дихання, а саме нагнітачів повітря [1]. Ці пристрої зараз знаходяться в комплектації сучасних пожежно-рятувальних автомобілів, які у теперішній час стоять в оперативному розрахунку Державних пожежно-рятувальних частин. Під час тактико-спеціальних навчань та пожеж стали звертати увагу на ефективність використання нагнітачів повітря для видалення диму та інших небезпечних речовин, але відсутність всебічного розгляду порядку оперативного розгортання особового складу цього процесу, а саме конкретних дій

кожного з номерів оперативного розрахунку значно збільшують час їх установки та запуску. А відсутність нормативів такого виду оперативного розгортання [2] не дозволяє провести якісне тренування особового складу оперативно-рятувальних підрозділів.

Таким чином, підвищення ефективності підготовки особового складу пожежно-рятувальних підрозділів до порятунку людей з житлових будинків або із закладів з масовим перебуванням людей в умовах сильного задимлення з використанням новітніх технічних засобів, а саме нагнітачів повітря є актуальною проблемою.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

В [2] запропоновані нормативи виконання навчальних вправ із спеціальної та фізичної підготовки, які охоплюють більшість вправ, що виконують під час практичних занять зі службової підготовки. Однак відсутні нормативи для використання нагнітачів повітря для порятунку людей з житлових будинків або із закладів з масовим перебуванням людей в умовах сильного задимлення.

На сьогоднішній день обґрунтування рекомендацій оперативним розрахункам пожежних автомобілів відбувається з урахуванням того, як особовий склад здійснює виконання типові для гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій операції та процеси. Так, в США під час підготовки оперативно-рятувальних підрозділів Федеральне агентство по реагуванню на надзвичайні ситуації, яке відповідає за цей напрямок, у відповідності до стандарту NFPA 1500-2022 [3], враховує як пожежну техніку, яка стоїть на озброєнні в підрозділах, так і місцеві особливості. При цьому особливості, що пов’язані із застосуванням нормативів для порятунку людей з житлових будинків або із закладів з масовим перебуванням людей в умовах сильного задимлення не розглядаються.

В [4] розглядаються питання руху пожежних, які використовують засоби індивідуального захисту. Основна увага приділена як стандартним методам відповідних випробувань, так і використанню суб’єктивних експертних оцінок. Проте питання щодо визначення окремих дій за призначенням та розробка нормативів не розглядається.

Хоча в [5] відмічається, що показником кваліфікованого застосування специфічного пожежного обладнання є регламентовані часові стандарти оперативних розгортань як важливих етапів реагування первинних оперативних розрахунків. І це стосується як професійних [6], так і волонтерських [7] підрозділів. В той же час, питання, пов’язані з тим, що дії рятувальників під час оперативних розгортань з нагнітачами повітря, не розглядались, як сукупність окремих дій та не запропоновані нормативи для цього процесу.

В базовому стандарті ЄС [8], який вимагає урахування під час підготовки до проведення оперативних розгортань пожежних автомобілів кількості особового складу в оперативних розрахунках (3 в загальноприйнятому пожежному екіпажі або 6 – в так званій, пожежній «ескадрильї») та клас пожежного автомобіля. Але аналіз окремих дій при виконанні оперативного розгортання та розробка нормативів для людей з житлових будинків або із закладів з масовим перебуванням людей в умовах сильного задимлення. В [9] відмічено, що кількісні оцінки часу виконання типових завдань у процесі дослідження працездатності рятувальника є важливими маркерами, які дозволяють отримати кількісні показники для визначення критеріїв успіху. Але в роботі не відображені підходи до розробки нормативів рятування людей з житлових будинків або із закладів з масовим перебуван-

© П. Ю. Бородич, В. М. Покалюк, О. В. Черкашин, К. В. Чурило

ням людей в умовах сильного задимлення з використанням технічних засобів.

В [10], де розглядаються питання безпечного та ефективного управління фізичною підготовкою працівників екстремальних служб, відмічено, що зацікавлені сторони на експертному рівні у стилі світлофору можуть узгодити стандарти для оцінювання рівня підготовленості та відповідні порогові значення. Аналогічним чином це було зроблено і в [11], де розглядалась відповідність фізичних здібностей обраним початковим завданням реагування пожежних. Але і в першому, і в другому випадку питання визначення нормативів для оцінювання рівня підготовленості пожежних-рятувальників з урахуванням особливостей виконання оперативних завдань з використанням нагнітачів повітря для рятування людей із непридатного для дихання середовищі не розглядаються.

Таким чином, важливою та нерозв'язаною частиною проблеми підвищення ефективності діяльності пожежно-рятувальних підрозділів ДСНС з новітнім обладнанням, а саме нагнітачами повітря для рятування людей з житлових будинків або із закладів з масовим перебуванням людей є відсутність науково-обґрунтованих нормативів для оцінювання рівня їх підготовленості до дій за призначенням.

3. Мета та завдання дослідження

Метою дослідження є розробка науково-методичного апарата обґрунтування нормативів для оцінювання рівня підготовленості пожежних-рятувальників до оперативного розгортання пожежно-рятувальних автомобілів в захисному спорядженні із засобами бронезахисту.

Для досягнення поставленої мети потребують вирішення наступні завдання:

1. Розробити імітаційну модель оперативного розгортання номерів розрахунку пожежно-рятувального автомобіля з установкою нагнітача повітря, яка дозволить всебічно дослідити даний процес.

2. Визначити нормативи для оцінювання рівня підготовленості пожежних-рятувальників до оперативного розгортання номерів розрахунку пожежно-рятувального автомобіля з установкою нагнітача повітря.

3. Провести порівняльний аналіз результатів оперативного розгортання з установкою нагнітача повітря з нормативами та без них.

4. Матеріали та методи дослідження

Об'єкт дослідження – оперативне розгортання особового складу пожежно-рятувального автомобіля з установкою нагнітача повітря.

Предмет дослідження – нормативні оцінки ефективності часу оперативного розгортання особового складу пожежно-рятувального автомобіля з установкою нагнітача повітря.

Основна гіпотеза дослідження –використання зворотної функції стандартного нормального розподілу з урахуванням як його статистичних параметрів, так і експертних суджень щодо ймовірності отримання відповідних оцінок рівня підготовленості особового складу до оперативного розгортання особового складу пожежно-рятувального автомобіля з установкою нагнітача повітря.

Перевірка гіпотези здійснювалась наступним чином:

–для ретельного дослідження процесу оперативне розгортання особового складу пожежно-рятувального автомобіля з установкою нагнітача повітря розробка імітаційної моделі даного процесу;

–визначення вихідних даних для отримання нормативів шляхом отримання середньозважених оцінок ймовірностей попадання часу оперативного розгортання особового складу пожежно-рятувального автомобіля з установкою нагнітача повітря;

–статистичного аналізу результатів типових варіантів оперативного розгортання особового складу пожежно-рятувального автомобіля з установкою нагнітача повітря;

–отримання шуканої нормативної оцінки з подальшим її коригуванням.

В дослідженні були використані наступні методи:

–для розробки імітаційної моделі був використаний метод мережевих моделей, а розрахунок її параметрів з використанням програмного забезпечення Microsoft Excel;

–для розробки нормативів був використаний метод розрахунку значення зворотної функції Φ^{-1} стандартного нормального розподілу та метод експертної оцінки, а розрахунок параметрів з використанням програмного забезпечення Microsoft Excel;

–апробація запропонованих нормативів оперативного розгортання з установкою нагнітача повітря метод порівняння даних, а також програмне забезпечення Microsoft Excel.

5. Розробка імітаційної моделі оперативного розгортання з установкою нагнітача повітря

В роботі була поставлена задача побудувати імітаційну модель оперативного розгортання з установкою нагнітача повітря, з використанням мережевої моделі [12]. Імітаційна модель представлена на рис. 1.

Початком є команда старшого начальника «Відділення, нагнітач повітря встановити!», закінчується модель подією «Вмикання нагнітача повітря!».

Всі дії даного процесу наведені в табл. 1.

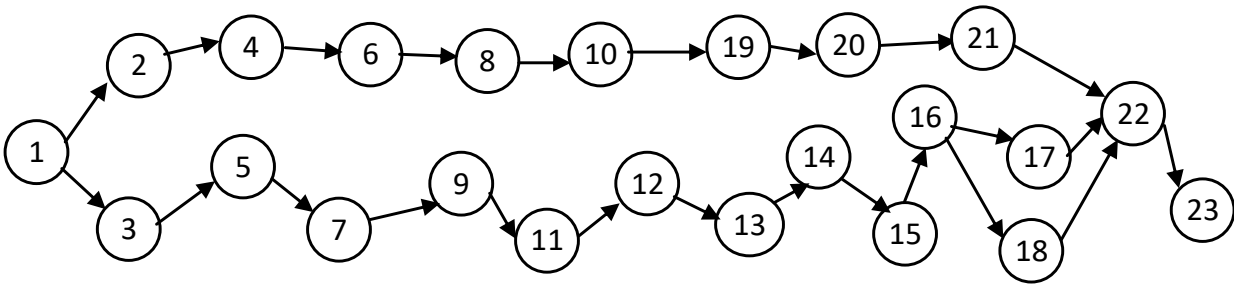

Рис. 1. Імітаційна модель оперативного розгортання з установкою нагнітача повітря

Дослідження даного процесу проводилися під час практичних занять при роботі в апаратах на стисненому повітрі зі здобувачами вищої освіти Національного університету цивільного захисту України, де були встановлені мінімальні t_{mini} та максимальні t_{maxi} значення часу виконання окремих дій [12].

Математичне очікування було розраховано

$$\bar{t}_i = \frac{(t_{maxi} + t_{mini})}{2}. \quad (1)$$

© П. Ю. Бородич, В. М. Покалюк, О. В. Черкашин, К. В. Чурило

Табл. 1. Аналіз окремих дій оперативного розгортання з установкою нагнітача повітря

№ з/п	Операція	Опис операції	$t_{min\ i}$, с	$t_{max\ i}$, с	$t_{сер\ i}$, с	σ_i, с	σ^2_i, $с^2$
1.	1–2	Рятувальник № 1 рухається в бік відсіку з генератором	3	10	6,5	1,2	1,4
2.	1–3	Рятувальник № 2 та рятувальник № 3 рухаються в бік відсіку з нагнітачем повітря	3	10	6,5	1,2	1,4
3.	2–4	Рятувальник № 1 відкриває відсік з генератором	2	8	5	1,0	1,0
4.	3–5	Рятувальник № 2 та рятувальник № 3 відкривають відсік з нагнітачем повітря	2	8	5	1,0	1,0
5.	4–6	Рятувальник № 1 від'єднує генератор та достає його	15	40	27,5	4,2	17,4
6.	5–7	Рятувальник № 2 та рятувальник № 3 від'єднують нагнітач повітря та достають його	15	40	27,5	4,2	17,4
7.	6–8	Рятувальник № 1 достає електроподовжувач	10	30	20	3,3	11,1
8.	7–9	Рятувальник № 2 та рятувальник № 3 переносять нагнітач повітря до місця його роботи	20	50	35	5,0	25,0
9.	8–10	Рятувальник № 1 прокладає електроподовжувач до нагнітача повітря	30	60	45	5,0	25,0
10.	9–11	Рятувальник № 2 та рятувальник № 3 повертаються до відсіку пожежно-рятувального автомобіля з напірними рукавами нагнітача повітря	15	40	27,5	4,2	17,4
11.	11–12	Рятувальник № 2 та рятувальник № 3 від'єднують напірні рукава нагнітача повітря та достають їх	20	60	40	6,7	44,4
12.	12–13	Рятувальник № 2 та рятувальник № 3 переносять напірні рукава нагнітача повітря до нагнітача повітря	20	50	35	5,0	25,0
13.	13–14	Рятувальник № 2 та рятувальник № 3 приєднують перший напірний рукав до нагнітача повітря	30	60	45	5,0	25,0
14.	14–15	Рятувальник № 2 та рятувальник № 3 розгортають перший напірний рукав	20	50	35	5,0	25,0
15.	15–16	Рятувальник № 2 та рятувальник № 3 з'єднують перший напірний рукав з другим напірним рукавом	25	45	5	3,3	11,1
16.	16–17	Рятувальник № 2 прокладає другий напірний рукав до місця нагнітання повітря	20	50	5	5,0	25,0
17.	16–18	Рятувальник № 3 рухається до нагнітача повітря	10	25	7,5	2,5	6,3
18.	10–19	Рятувальник № 1 вмикає вилку нагнітача повітря в розетку електроподовжувача	5	15	10	1,7	2,8
19.	19–20	Рятувальник №1 рухається до генератора	10	25	17,5	2,5	6,3
20.	20–21	Рятувальник №1 готовий запускає генератор	1	3	2,0	0,3	0,1
21.	21–22	Рятувальник №1 запускає генератор	10	35	22,5	4,2	17,4
22.	18–22	Рятувальник №3 готовий запустити нагнітач повітря	1	3	2,0	0,3	0,1
23.	17–22	Рятувальник №2 дає команду на пуск нагнітача повітря	5	10	7,5	0,8	0,7
24.	22–23	Рятувальник №3 вмикає нагнітач повітря			3	0,7	0,4

Враховуючи те, що для одновершинних розподілів середньоквадратичне відхилення приблизно дорівнює 1/6 інтервалу [12], на якому розглядається розподіл, дана оцінка розраховується як:

$$\sigma_i \approx \frac{t_{i\max} - t_{i\min}}{6} \quad . \tag{2}$$

Використавши отримані результати, були розраховані основні параметри мережевої моделі [12] (табл. 2).

Для визначення критичного шляху імітаційної моделі були розраховані значення математичного очікування (3) та дисперсії (4) критичного шляху.

$$\bar{t}(L_{кр}) = \sum \bar{t}_{i\,кр} = 337\,с, \tag{3}$$

де $\bar{t}_{i\,кр}$ - математичне очікування і-ї операції критичного шляху, с.

Табл. 2. Параметри мережевої моделі оперативного оперативного розгортання з установкою нагнітача повітря

Операція	t_i, с	Ранній час		Пізній час		Резерв часу R, с
		$t_{i\,р.п.}$, с	$t_{i\,р.з.}$, с	$t_{i\,п.п.}$, с	$t_{i\,п.з.}$, с	
1-2	6,5	0	6,5	178	184,5	178
1-3	6,5	0	6,5	0	6,5	0
2-4	5	6,5	11,5	184,5	189,5	178
3-5	5	6,5	11,5	6,5	11,5	0
4-6	27,5	11,5	39	189,5	217	178
5-7	27,5	11,5	39	11,5	39	0
6-8	20	39	59	217	237	178
7-9	35	39	74	39	74	0
8-10	45	59	104	237	282	178
9-11	27,5	74	101,5	74	101,5	0
11-12	40	101,5	141,5	101,5	141,5	0
12-13	35	141,5	176,5	141,5	176,5	0
13-14	45	176,5	221,5	176,5	221,5	0
14-15	35	221,5	256,5	221,5	256,5	0
15-16	35	256,5	291,5	256,5	291,5	0
16-17	35	291,5	326,5	291,5	326,5	0
16-18	17,5	291,5	309	309	332	23
10-19	10	104	114	282	292	178
19-20	17,5	114	131,5	292	309,5	178
20-21	2,0	131,5	133,5	309,5	311,5	178
21-22	22,5	133,5	156	311,5	334	178
18-22	2,0	309	311	332	334	23
17-22	7,5	326,5	334	326,5	334	0
22-23	3	334	337	334	337	0

$$\sigma^2(L_{кр}) = \sum \sigma_i^2 = 218{,}8\,с^2, \tag{4}$$

де σ_i^2 – дисперсія ї-операції критичного шляху.

Тоді середньоквадратичне відхилення критичного шляху буде дорівнюватися $\sigma(L_{кр}) = 14{,}8\,с$.

Критичним в імітаційній моделі оперативного розгортання з установкою нагнітача повітря є шлях дій рятувальника № 2 та рятувальника № 3, які фактично всі дії виконують разом, лише на при кінці рятувальника № 2 має невеликий зазор часу тобто на рятувальнику № 3 буде найбільша затримка часу.

© П. Ю. Бородич, В. М. Покалюк, О. В. Черкашин, К. В. Чурило

Тому для підвищення ефективності розглянутого процесу необхідно другим та третім номером ставити рятувальників, які пройшли тренування по роботі з нагнітачем повітря та повинні бути включеними в апарати на стисненому повітрі, тому що їм необхідно буде заходити в непридатне для дихання середовище.

В якості рятувальника № 1 можливо використовувати водія, якщо його пожежно-рятувальний автомобіль знаходиться в резерві.

6. Розробка нормативу оперативного розгортання з установкою нагнітача повітря

В роботі поставлена задача розробити науково обґрунтовані нормативи оперативного розгортання з установкою нагнітача повітря. Розробка нормативів має у своїй основі порівняння результатів одного випробуваного з результатами інших випробуваних. Порівняльні норми можуть бути побудовані за допомогою віднесення відповідного відсотка розглянутого особового складу до нормативу, що йому посильний [13]. Процес оперативного розгортання з установкою нагнітача повітря містить досить велику кількість різноманітних операцій, що підлягають виконанню, відповідно до центральної граничної теореми можна вважати, що закон розподілу часу оперативного розгортання буде нормальним незалежно від закону розподілу часу виконання окремих операцій. Використовуючи значення зворотної функції Φ^{-1} стандартного нормального розподілу [13], шукані оцінки часу рятування можуть бути визначені як:

$$t_5 = \bar{t} + G \cdot \Phi^{-1}(\tilde{P}_5), \tag{5}$$

$$t_4 = \bar{t} + G \cdot \Phi^{-1}(\tilde{P}_4 + \tilde{P}_5), \tag{6}$$

$$t_3 = \bar{t} + G \cdot \Phi^{-1}(\tilde{P}_3 + \tilde{P}_4 + \tilde{P}_5), \tag{7}$$

де $\bar{t}$ – математичне очікування виконання процесу рятування, с; G – середньоквадратичне відхилення, с; $\tilde{P}_3, \tilde{P}_4, \tilde{P}_5$ – середньозважені оцінки відповідних часток (частот) можливих результатів віднесених, відповідно, до оцінки «відмінно», «добре», «задовільно».

Для визначення середньозважених оцінок відповідних часток можливих результатів був використаний метод експертної оцінки [13]. В якості експертів виступили викладачі Національного університету цивільного захисту України та співробітники оперативно-координаційного центру Головного управління ДСНС у Харківській області. Їм було запропоновано надати відповідну частку усіх можливих результатів, віднесених, відповідно (як це прийнято в оперативно-рятувальній служб в даний час), до оцінки «відмінно», «добре», «задовільно» або «незадовільно». В той же час, експертні оцінки характеризуються тим, що думки конкретних експертів можуть суттєво відрізнятись між собою. Щоб зменшити вплив некомпетентних експертів на підсумкову оцінку, яка і буде використовуватись для визначення частки результатів, що відповідають конкретній оцінці нормативу, пропонується метод визначення усередненої оцінки експертів, в основі якого лежить середньозважене значення тих оцінок, які надали експерти.

В основі розрахунку вагового коефіцієнта конкретного експерта лежить розрахунок суми квадратів відхилень запропонованих ним значень від середніх значень, отриманих в результаті аналізу всіх результатів ваговий коефіцієнт вище в того експерта, у якого результати менше відрізняються від відповідних середніх значень [13].

Щоб накопичити вихідні дані, необхідні для експертної оцінки, доцільно використовувати спеціальну форму, в якій зазначається оцінка, яку і-ий (i = 1, 2, ..., k, де k – кількість експертів) експерт вважає за доцільне виділити для оцінки j-ї частки (j = 5, 4, 3 та 2) всіх можливих результатів виконання нормативу [13].

Для оцінки середньозваженого часу виконання даної операції використовуються вагові коефіцієнти експертів, що спираються на оцінки дисперсій часу її виконання, обробку результатів експертного опитування було проведено в наступній послідовності [13].

Розрахунок величин середньої оцінки, яку пропонується виділити для оцінки j-ї частки всіх можливих результатів виконання нормативу:

$$\overline{P}_j = \frac{\sum_{i=1}^{k} P_{ij}}{k}, \tag{8}$$

Розрахунок суми квадратів відхилень по кожній частки всіх можливих результатів виконання нормативу між оцінкою, яку пропонує і-ий експерт, і її середнім значенням:

$$S_i = \sum_{j=1}^{l} \left(P_{ij} - \overline{P}_j\right)^2. \tag{9}$$

Визначення усередненої оцінки експертів по j-ій частки всіх можливих результатів, яке здійснюється шляхом знаходження середньозваженого значення за оцінками всіх експертів

$$\tilde{P}_j = \sum_{i=1}^{l} q_i \cdot P_{ji}\ , \tag{10}$$

де $q_i = \frac{S_i}{S_0}$ – ваговий коефіцієнт і-го експерта; S_0 – постійна, яка вибирається з умови $\sum_{i=1}^{k} S_i = 1$, тобто $S_0 = \frac{1}{\sum_{i=1}^{k} \frac{1}{S_i}}$.

Оцінки, які надали експерти наведені в табл. 3.

Використовуючи (5), (6), (7) та дані розділу 3.1 були розраховані з використанням програмного забезпечення Microsoft Excel оцінки часу оперативного розгортання з установкою нагнітача повітря:

$$t_5 = 337 + 14{,}8 \cdot \Phi^{-1}(0{,}144) = 321{,}3\,\text{с};$$

$$t_4 = 337 + 14{,}8 \cdot \Phi^{-1}(0{,}366 + 0{,}144) = 337{,}4\,\text{с};$$

© П. Ю. Бородич, В. М. Покалюк, О. В. Черкашин, К. В. Чурило

$$t_3 = 337 + 14{,}8 \cdot \Phi^{-1}(0{,}366 + 0{,}366 + 0{,}144) = 354{,}1\,\text{с}.$$

Табл. 3. Експертні оцінки часток всіх можливих результатів виконання нормативу та їх аналіз

Оцінка	Експерт					$\overline{P}_j$
	1	2	3	4	5	
5	0,2	0,1	0,15	0,1	0,25	0,16
4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,25	0,35
3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,25	0,35
2	0,2	0,1	0,05	0,1	0,25	0,14
S_i	0,0102	0,0102	0,0132	0,0102	0,0402	
$\frac{1}{S_i}$	98,03922	98,03922	75,75758	98,03922	24,87562	
Ваговий коефіцієнт експерта q_i	0,248357	0,248357	0,191912	0,248357	0,063016	
Усереднена оцінка	Експерт					$\tilde{P}_j$
5	0,05	0,025	0,029	0,025	0,016	0,144
4	0,075	0,099	0,077	0,099	0,016	0,366
3	0,075	0,099	0,077	0,099	0,016	0,366
2	0,05	0,025	0,01	0,025	0,016	0,125

Виходячи з цього були розроблені нормативи оперативного розгортання з установкою нагнітача повітря [13]:

$t_5 = 320$ с – оцінка «відмінно»;

$t_4 = 335$ с – оцінка «добре»;

$t_3 = 355$ с – оцінка «задовільно».

7. Порівняльний аналіз оперативного розгортання

Під час практичних занять в апаратах автономного дихання стисненим повітрям з відкритим контуром на свіжому повітрі була проведена апробація запропонованих нормативів оперативного розгортання з установкою нагнітача повітря. Дослідження були проведені:

1. без озвучення нормативу перед виконанням вправи;
2. з озвученням нормативу перед виконанням вправи;
3. без озвучення нормативу перед виконанням вправи в бронежилетах;
4. з озвученням нормативу перед виконанням вправи в бронежилетах.

Отримані результати наведені в табл. 4. та на рис. 2.

Аналіз отриманих результатів оцінки виконання оперативного розгортання з установкою нагнітача повітря показав, що особовий склад без озвучення нормативу виконує поставлене оперативне завдання швидше ніж особовий склад, якому не озвучені нормативи. Це пояснюється бажанням особового складу вкластися в запропонований норматив і тому всі дії виконуються швидше.

Табл. 4. Апробація запропонованих нормативів оперативного розгортання з установкою нагнітача повітря

№ відділення	Без озвучення нормативу перед виконанням вправи	З озвученням нормативу перед виконанням вправи	Без озвучення нормативу перед виконанням вправи в бронежилетах	З озвученням нормативу перед виконанням вправи в бронежилетах
1.	340	319	360	335
2.	360	333	385	350
3.	330	315	355	325
4.	325	310	333	321
5.	357	338	370	353
6.	352	334	375	349
7.	331	317	343	329
8.	327	310	333	319
9.	331	318	345	333
10.	380	350	395	359
11.	340	332	351	339
12.	325	312	333	322
13.	338	331	354	342
14.	375	357	410	385
15.	319	301	325	312
16.	323	311	344	330
17.	331	318	345	332
18.	350	344	375	359
19.	340	327	355	353
20.	317	315	340	337
21.	337	333	350	347

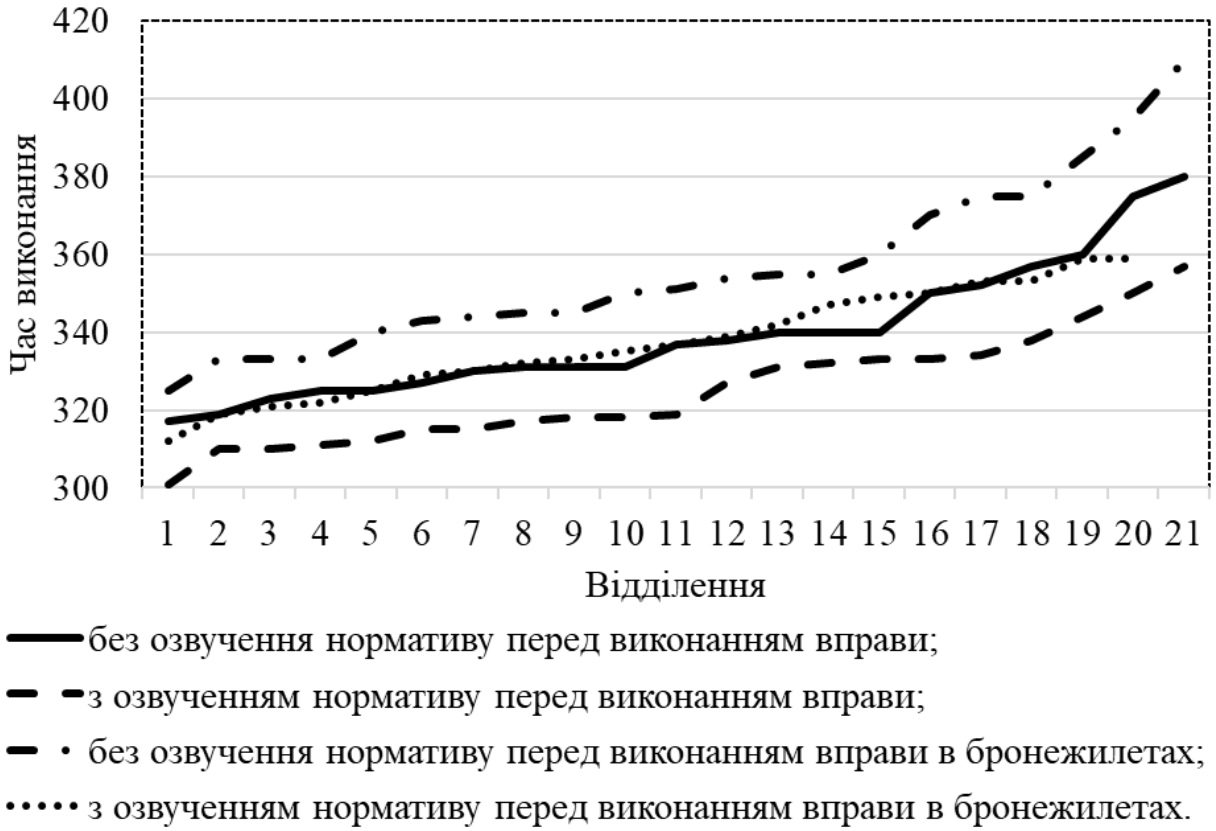

Рис. 2. Апробація запропонованих нормативів оперативного розгортання з установкою нагнітача повітря

© П. Ю. Бородич, В. М. Покалюк, О. В. Черкашин, К. В. Чурило

Також були проведені дослідження в засобах бронезахисту, що є актуальним в умовах воєнного стану. Результати показали, що використання бронежилету погіршує результати виконання вправи. Це пояснюється додатковою вагою оснащення пожежного-рятувальника, а також деякими обмеженнями рухів бронежилетом.

8. Обговорення результатів розробки науково-обґрунтованих нормативів оперативного розгортання з установкою нагнітача повітря

Для всебічного дослідження оперативного розгортання особового складу пожежно-рятувального автомобіля з установкою нагнітача повітря біла розроблена імітаційна модель даного процесу (рис. 1). Використання даної моделі дозволило визначити мінімальний та максимальний часи виконання даного оперативного розгортання. Проведені розрахунки параметрів імітаційної моделі дозволили визначити критичний шлях. Критичним в імітаційній моделі є шлях дій рятувальника № 2 та рятувальника № 3, які фактично всі дії виконують разом, лише на при кінці рятувальника № 2 має невеликий зазор часу тобто на рятувальнику № 3 буде найбільша затримка часу. Тому для підвищення ефективності розглянутого процесу необхідно другим та третім номером ставити рятувальників, які пройшли тренування по роботі з нагнітачем повітря та повинні бути включеними в апарати на стисненому повітрі, тому що їм необхідно буде заходити в непридатне для дихання середовище. В якості рятувальника № 1 можливо використовувати водія, якщо його пожежно-рятувальний автомобіль знаходиться в резерві.

Використання імітаційної моделі оперативного розгортання особового складу пожежно-рятувального автомобіля з установкою нагнітача повітря дозволило отримати значення часу, який потім став основою для розробки нормативів цього процесу, які в свою чергу підвищили ефективність рятування людей з житлових будинків або із закладів з масовим перебуванням людей в умовах сильного задимлення з використанням новітніх технічних засобів

Проведений аналіз показав, що важливою та нерозв’язаною частиною проблеми підвищення ефективності процесу оперативного розгортання особового складу пожежно-рятувального автомобіля з установкою нагнітача повітря є відсутність нормативів для оцінювання рівня підготовленості до відповідних дій. Показана доцільність використання під час визначення нормативних оцінок середньозважених оцінок відповідних часток (частот) всіх можливих результатів, які попадають в інтервали часу оперативного розгортання особового складу пожежно-рятувального автомобіля з установкою нагнітача повітря, що відповідають обраним критеріям визначення рівня підготовленості оперативного розрахунку.

Було визначено, що очікувані значення ймовірності попадання часу оперативного розгортання в обраний інтервал можливо розглядати у вигляді середньовиваженої оцінки за відповідними індивідуальними оцінками всіх залучених експертів. В якості експертів виступили викладачі Національного університету цивільного захисту України та співробітники оперативно-координаційного центру Головного управління ДСНС у Харківській області. Їм було запропоновано надати відповідну частку усіх можливих результатів, віднесених, відповідно (як це прийнято в оперативно-рятувальній службі в даний час), до оцінки «відмінно», «добре», «задовільно» або «незадовільно». В той же час, експертні оцінки характеризувалися тим, що думки деяких експертів суттєво відрізнялися між собою. Щоб зменшити вплив некомпетентних експертів на підсумкову оцінку, що і була використана для визначення частки результатів, що відповідають конкретній оці-

нці нормативу, був використаний метод визначення усередненої оцінки експертів, в основі якого лежить середньозважене значення тих оцінок, які надали експерти.

Отримані конкретні нормативи для оцінювання рівня підготовленості пожежних-рятувальників до оперативного розгортання особового складу пожежно-рятувального автомобіля з установкою нагнітача повітря.

Апробація результатів дослідження підвищення ефективності підготовки особового складу пожежно-рятувальних підрозділів до порятунку людей з житлових будинків або із закладів з масовим перебуванням людей в умовах сильного задимлення з використанням новітніх технічних засобів, а саме нагнітачів повітря була проведена під час практичних занять. Особовий склад виконував оперативне розгортання з установкою нагнітача повітря спочатку без оголошення нормативів (в захисному одязі та з використанням засобів бронезахисту), а потім з попереднім оголошенням нормативів (в захисному одязі та з використанням засобів бронезахисту). Отримані результати показали, що оголошення нормативів стимулює особовий склад виконувати вправу швидше, що в свою чергу зменшує час та, відповідно, підвищує ефективність підготовки особового складу пожежно-рятувальних підрозділів до порятунку людей з житлових будинків або із закладів з масовим перебуванням людей в умовах сильного задимлення з використанням новітніх технічних засобів.

9. Висновки

1. Розроблено та всебічно досліджено оперативне розгортання особового складу пожежно-рятувального автомобіля з установкою нагнітача повітря. Критичним в імітаційній моделі є шлях дій рятувальника № 2 та рятувальника № 3, які фактично всі дії виконують разом, лише наприкінці рятувальник № 2 має невеликий зазор часу тобто на рятувальнику № 3 буде найбільша затримка часу. Тому для підвищення ефективності розглянутого процесу необхідно другим та третім номером ставити рятувальників, які пройшли тренування по роботі з нагнітачем повітря та повинні бути включеними в апарати на стисненому повітрі, тому що їм необхідно буде заходити в непридатне для дихання середовище. В якості рятувальника № 1 можливо використовувати водія, якщо його пожежно-рятувальний автомобіль знаходиться в резерві.

2. За результатами використання методу експертних оцінок (в якості експертів виступили викладачі Національного університету цивільного захисту України та співробітники оперативно-координаційного центру Головного управління ДСНС у Харківській області), який дозволив та урахувати їх точки зору стосовно кожного нормативу щодо відповідних часток всіх можливих результатів у вигляді середньозважених оцінок отримано нормативні оцінки (t_5 (ОР)=320 с; t_4 (ОР)=335 с; t_3 (ОР1)=355 с) для оцінювання рівня підготовленості до оперативного розгортання особового складу пожежно-рятувального автомобіля з установкою нагнітача повітря.

3. Аналіз отриманих результатів оцінки виконання оперативного розгортання з установкою нагнітача повітря показав, що особовий склад з озвученням нормативу виконує поставлене оперативне завдання швидше ніж особовий склад, якому не озвучені нормативи. Це пояснюється бажанням особового складу вкластися в запропонований норматив і тому всі дії виконуються швидше. Також були проведені дослідження в засобах бронезахисту, що є актуальним в умовах воєнного стану. Результати показали, що використання бронежилету погіршує результати ви-

© П. Ю. Бородич, В. М. Покалюк, О. В. Черкашин, К. В. Чурило

конання вправи. Це пояснюється додатковою вагою оснащення пожежного-рятувальника, а також деякими обмеженнями рухів бронежилетом.

Література

1. Про затвердження Порядку організації роботи органів управління та підрозділів, закладів освіти системи ДСНС під час підготовки особового складу, гасіння пожеж, ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій та інших небезпечних подій в умовах екстремальних температур, задимленості, загазованості, радіоактивного, хімічного забруднення та біологічного зараження: Наказ МВС України від 25.09.2023 р. № 780 : станом на 27 жовтня. 2025 р. Офіційний вебпортал парламенту України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/z1839-23

2. Про затвердження Змін до Порядку організації службової підготовки осіб рядового і начальницького складу служби цивільного захисту: Наказ МВС України від 12.06.2023 р. № 480 : станом на 27 жовтня. 2025 р. Офіційний вебпортал парламенту України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1186-23#Text

3. NFPA 1500. Standard on Fire Department Occupational Safety and Health Program. 2022. URL: http://www.fsans.ns.ca/pdf/research/nfpa1500.pdf

4. Tochihara Y., Lee J. Y., Son S. Y. A review of test methods for evaluating mobility of firefighters wearing personal protective equipment. Industrial Health. 2022. Vol. 60. № 2. P. 106–120. doi: 10.2486/indhealth.2021-0157

5. OSHA 1910.156 Fire brigades. URL: https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9810

6. NFPA 1033: Standard for Professional Qualifications for Fire Investigator. URL:http://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codesand-standards?mode=code&code=1033

7. Texas City Refinery explosion. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Texas_City_Refinery_explosion

8. Multi-part Document BS EN 1846 – Firefighting and rescue service vehicles. doi: 10.3403/BSEN1846

9. Morris C., Chander H. The impact of firefighter physical fitness on job performance: a review of the factors that influence fire suppression safety and success. Safety. 2018. Vol. 4. № 60. P. 4–11. doi: 10.3390/safety4040060

10. Stevenson R., Siddall A., Turner P., Bilzon J. Implementation of physical employment standards for physically demanding occupations. Journal of Occupational and Environmental Medicine. 2020. Vol. 62. № 8. P. 647–653. doi: 10.1097/JOM.0000000000001921

11. Gumieniak R., Shaw J., Gledhill N., Jamnik V. Physical employment standard for Canadian wildland fire fighters: identifying and characterising critical initial attack response tasks. Ergonomics. 2018. Vol. 61. № 10. P. 1299–1310. doi: 10.1080/00140139.2018.1464211

12. Manco G., Ritacco E., Mungari S., Guarascio M. Network Topology. Encyclopedia of Bioinformatics and Computational Biology (Second Edition). 2025.Vol. 2. P. 542–555. doi: 10.1016/B978-0-323-95502-7.00126-3

13. Strelec V. M., Stecuk E. I., Shepelev I. V. A statistical method of substantiating standards for evaluating the level of preparedness of pyrotechnicians (on the example of wearing personal protective equipment of a sapper). Military and technical collection. 2018. Vol. 21. № 2. P. 99–1013. doi: 10.33577/2312-4458.19.2018.85-93

P. Borodych, *PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department*
V. Pokaliuk, *DSc, Associate Professor, Head of Department*
O. Cherkashyn, *PhD, Associate Professor, Deputy Head of the Department*
K. Churylo, *Cadet*
National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine

SIMULATION OF OPERATIONAL DEPLOYMENT WITH AIR BOOSTER INSTALLATION WITH FURTHER DEVELOPMENT OF STANDARDS

A simulation model of the operational deployment of fire and rescue vehicle calculation numbers with an air blower installation is proposed. The simulation modeling was carried out using a network model. The calculations of the mathematical expectation and the standard deviation of each individual operation of the operational deployment of fire and rescue vehicle calculation numbers with an air blower installation allowed us to analyze the proposed model and determine the critical path. The critical path in the simulation model of operational deployment with an air blower installation is the path of actions of rescuer № 2 and rescuer № 3, who actually perform all actions together, only at the end of rescuer № 2 there is a small time gap, i.e. rescuer № 3 will have the greatest time delay. Scientifically substantiated standards for the operational deployment of fire and rescue vehicle numbers with an air compressor installation were developed, in which the expert assessment method was used to determine the weighted average estimates of the corresponding shares of possible results. The experts were teachers of the National University of Civil Defense of Ukraine and employees of the operational coordination center of the Main Directorate of the State Emergency Service in the Kharkiv region. They were asked to provide the corresponding share of all possible results, assigned, respectively (as is currently accepted in the operational and rescue services), to the assessment of "excellent", "good", "satisfactory" or "unsatisfactory". In order to reduce the influence of incompetent experts on the final assessment, the method of determining the average expert assessment was used, which is based on the weighted average value of the assessments provided by the experts. The proposed operational deployment standards with the installation of an air blower both in protective clothing and additionally in body armor were tested.

Keywords: network model, critical path, air blower, standard, expert assessment method

References

1. MVS Ukrainy. (2023). Nakaz № 780: Pro zatverdzhennia Poriadku orhanizatsii roboty orhaniv upravlinnia ta pidrozdiliv, zakladiv osvity systemy DSNS pid chas pidhotovky osobovoho skladu, hasinnia pozhezh, likvidatsii naslidkiv nadzvychainykh sytuatsii ta inshykh nebezpechnykh podii v umovakh ekstremalnykh temperatur, zadymlenosti, zahazovanosti, radioaktyvnoho, khimichnoho zabrudnennia ta biolohichnoho zarazhennia. Available at: https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/z1839-23

2. MVS Ukrainy. (2023). Nakaz № 480: Pro zatverdzhennia Zmin do Poriadku orhanizatsii sluzhbovoi pidhotovky osib riadovoho i nachalnytskoho skladu sluzhby tsyvilnoho zakhystu. Available at: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1186-23#Text

3. NFPA 1500. Standard on Fire Department Occupational Safety and Health Program. Available at: http://www.fsans.ns.ca/pdf/research/nfpa1500.pdf

4. Tochihara, Y., Lee, J. Y., Son, S. Y. (2021). A review of test methods for evaluating mobility of firefighters wearing personal protective equipment. Industrial Health, 60(2), 106–120. doi: 10.2486/indhealth.2021-0157

5. OSHA 1910.156. Fire brigades. Available at: https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9810

6. NFPA 1033. Standard for Professional Qualifications for Fire Investigator. Available at: http://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codesand-standards?mode=code&code=1033

7. Texas City Refinery explosion. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Texas_City_Refinery_explosion

© П. Ю. Бородич, В. М. Покалюк, О. В. Черкашин, К. В. Чурило

8. Multi-part Document BS EN 1846 – Firefighting and rescue service vehicles. doi: 10.3403/BSEN1846

9. Morris, C., Chander, H. (2018). The impact of firefighter physical fitness on job performance: a review of the factors that influence fire suppression safety and success. Safety, 4(60), 4–11. doi: 10.3390/safety4040060

10. Stevenson, R., Siddall, A., Turner, P., Bilzon, J. (2020). Implementation of physical employment standards for physically demanding occupations. Journal of Occupational and Environmental Medicine, 62(8), 647–653. doi: 10.1097/JOM.0000000000001921

11. Gumieniak, R., Shaw, J., Gledhill, N., Jamnik, V. (2021). Physical employment standard for Canadian wildland fire fighters: identifying and characterising critical initial attack response tasks. Ergonomics, 61(10), 1299–1310. doi: 10.1080/00140139.2021.1464211

12. Manco G., Ritacco E., Mungari S., Guarascio M. (2025). Network Topology. Encyclopedia of Bioinformatics and Computational Biology (Second Edition). 2, 2025, 542–555. doi: 10.1016/B978-0-323-95502-7.00126-3

13. Strelec, V. M., Stecuk, E. I., Shepelev, I. V. (2018). A statistical method of substantiating standards for evaluating the level of preparedness of pyrotechnicians (on the example of wearing personal protective equipment of a sapper). Military and technical collection, 21(2), 99–1013. doi: 10.33577/2312-4458.19.2018.85-93

Надійшла до редколегії: 15.09.2025
Прийнята до друку: 15.10.2025