

## УДК 313.86

*П. Ю. Бородич<sup>1</sup>, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0001-9933-8498)*

*П. А. Ковальов<sup>1</sup>, к.т.н., доцент, нач. каф. (ORCID 0000-0002-2817-5393)*

*В. В. Стрілець<sup>2</sup>, н.с. (ORCID 0000-0003-1913-7878)*

*А. О. Мирошниченко<sup>1</sup>, нач. клубу (ORCID 0000-0002-5104-0657)*

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

<sup>2</sup>ТОВ «Бранд трейд», Харків, Україна

## ЗАКОНОМІРНОСТІ ВИТРАТИ ПОВІТРЯ В ЗАХИСНИХ АПАРАТАХ ПРИ РОБОТІ В МЕТРОПОЛІТЕНІ

Розглядаються технічні можливості апаратів на стисненому повітрі, які стоять на озброєнні в пожежно-рятувальних підрозділах, в разі їх використання особовим складом ланок (відділень) газодимозахисної служби під час проведення аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену глибокого закладення, які є найбільш небезпечними при виникненні на них пожежі або іншої надзвичайної ситуації. В ході дослідження використовувалися результати тактико-спеціальних навчань на станціях глибокого закладення Харківського метрополітену, які були організовані так, що отримані експериментальним шляхом часи виконання типових завдань газодимозахисників, а також відповідні показники початкового і кінцевого тиску в балонах апаратів на стисненому повітрі, стали основою для отримання статистичних вибірок витрати повітря рятувальниками. Аналіз результатів дозволив з рівнем значущості  $\alpha = 0,05$  показати, що закономірністю витрати повітря в апаратах на стисненому повітрі під час проведення аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену глибокого закладення є нормальна функція розглянутого показника. Відзначено, що при всіх режимах роботи в апаратах на стисненому повітрі витрата повітря вище не тільки нормативних показників легеневої вентиляції, але і показників витрати повітря при виконанні відповідних завдань в теплодимокамерах. Отримане відношення між зміною тиску в апаратах на стисненому по під час виконання газодимозахисниками окремих дозволяє використовувати його для обґрунтування рекомендацій, пов'язаних з уточненням розрахункових співвідношень, які використовуються на посту безпеки газодимозахисної служби. Показано, що мінімальний тиск в апаратах на стисненому повітрі на момент виходу повинно бути в три рази більше величини, на яку зменшився тиск за час руху до місця надзвичайної ситуації. На основі розкритих закономірностей рекомендовані вираження для спрощених розрахунків часу припинення розвідки і повернення ланки (відділення) газодимозахисної служби на чисте повітря. Використання запропонованих спрощених співвідношень дасть можливість постовому на посту безпеки приділити більше уваги підготовці ланки газодимозахисної служби та контролю її роботи в процесі проведення рятувальних робіт.

**Ключові слова:** апарат на стисненому повітрі, витрата повітря, метрополітен, аварійно-рятувальні роботи, газодимозахисник

### 1. Вступ

Відповідно до [1] аварійно-рятувальні роботи при виникненні надзвичайних ситуацій в метрополітені особовий склад пожежно-рятувальних підрозділів повинен проводити в регенеративних дихальних апаратах (СС SCBA). Виходячи з цього на посту безпеки в основу розрахунків часу проведення розвідки покладені показники, які характеризують подачу кисню редуктором СС SCBA. У той же час, пожежно-рятувальні підрозділи, які першими прибувають до місця ЧСМ, оснащені апаратами на стисненому повітрі (SCBA), час захисної дії яких значно менше часу захисної дії СС SCBA. В Україні в науково-технічній [2, 3] і довідковій літературі [4, 5] наведені значення легеневої вентиляції, відповідні виконання робіт різного ступеня важкості. В результаті цього виникає протиріччя між вимогою нормативних документів, яка регламентує роботу рятувальників і реальною роботою газодимозахисників, тому вони, у тому разі постовий на посту

безпеки не можуть використовувати рекомендовані в існуючих документах співвідношення для розрахунку оцінок часу роботи ланки (відділення) газодимозахисної служби. Проблема обліку закономірностей роботи рятувальників в ізолюючих апаратах, в тому числі в процесі ліквідації надзвичайних ситуацій в метрополітені, є актуальною у всьому світі. Так, відповідно до загальних вимог OSHA [6] при формуванні організаційно-штатної структури пожежної бригади враховуються вимоги не тільки 29 CFR 1910.156 [7], але і стандарту по захисту органів дихання пожежних OSHA 1910.134 [8]. При цьому відповідно до стандартів NFPA 1 001 [9] і WAC 296-305-05109 [10] пожежні повинні використовувати засоби захисту, що відповідають специфічним умовам проведення конкретних видів аварійно-рятувальних робіт, а відповідно до [11, 12] знати обмеження в питаннях їх використання. До числа найбільш важливих обмежень, що характерні для проведення аварійно-рятувальних робіт в метрополітені, є обмеження щодо часу перебування в непридатному для дихання середовищі, які в разі використання АСП визначаються тим, наскільки швидко витрачається запас повітря в апараті. У зв'язку з вище зазначеним, актуальною проблемою є наявність об'єктивних труднощів при прогнозуванні часу роботи рятувальників в апаратах на стиснутому повітрі при проведенні аварійно-рятувальних робіт в метрополітені.

## 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

У [13], де наведені результати дослідження фізіологічних реакцій пожежних і споживання ними повітря під час проведення рятувальних робіт в метрополітені, де було показано, що для АСП з часом захисної дії 30 хвилин сигнал про те, що залишилося 25% запасу повітря, повинен статися вже на 11 хвилині для рятувальника з високим рівнем споживання повітря і на 16 хвилині при середньому по групі (33 чоловіки і 3 жінки). При цьому в дослідженні детально розглядалися особливості поглинання кисню пожежними і серцевий ритм. Крім цього, вибрані операції (спуск по сходах на один проліт, пошук потерпілого в приміщенні і його підйом на один сходовий проліт) більшою мірою характерні для рятувальних робіт тільки на станціях метрополітену мілкового закладання або всередині багатоповерхового будинку.

В 42CFR 84 [14] наведені вимоги щодо 25-відсоткової сигналізації рятувальників при роботі в АСП. Але ці вимоги не можуть бути реалізовані при проведенні аварійно-рятувальних робіт в метрополітені.

Проблема часу виходу, пов'язана з обмеженнями АСП, розглянута в [15], де зазначено, що 25-відсоткова сигналізація не є адекватною при проведенні пошукових робіт, особливо в метрополітені. Але в роботі не розглянуті залежності часу захисної дії від важкості операцій, які виконуються.

Особливості зміни легеневої вентиляції при виході з підземної вугільної шахти розглянуті в [16], де було показано її збільшення при виконанні типових операцій до 52 л/хв, що становило 70% від максимального значення легеневої вентиляції, яке досягається на біговій доріжці. У той же час в цих дослідженнях, не тільки не враховуються особливості, що характерні для метрополітену (наприклад, рух по ескалатору), але і не розглядалося перебування в ізолюючих апаратах.

В [17] розглянуті потреби в кисні для різних варіантів евакуації шахтарів під час надзвичайної ситуації в підземній шахті але в ній теж не були враховані особливості, що характерні для аварійно-рятувальних робіт в метрополітені і не розглянута робота в АСП.

Використання ізолюючих апаратів в шахтах розглядалося в [18], але там основна увага була приділена навчанню гірників використання автономних саморятівників.

Максимальний час перебування в АСП розглядалося в [19], де наведені результати дослідження того, як впливає АСП масою 15,5 кг на аеробне деформування і серцевий ритм при виконанні вправ легкого, помірного та важкого рівнів на біговій доріжці. Було відзначено, що ефективне пожежогасіння протягом 20-30 хвилин може бути досягнуто тільки завдяки хорошій фізичній працездатності і самоконтролю фізичного навантаження. Останнє в разі проведення рятувальних робіт в метрополітені, особливо пов'язаних з евакуацією постраждалих без свідомості, виконати неможливо.

Аналогічна ситуація характерна і для [20], де наведені результати дослідження того, як впливає комплекс засобів індивідуального захисту (PPE) в поєднанні з ізолюючим апаратом.

Вплив перенесення важкого вантажу на фізіологічні реакції при виконанні градувальних вправ розглянуто в [21], однак там не враховуються особливості, пов'язані з перенесенням постраждалих, тим більше по нерухомому ескалатору, а також роботою в ізолюючих апаратах.

Аналіз особливостей, пов'язаних зі специфікою роботи в АСП, витрати запасу газоповітряної суміші, наведений в [22], показав статистично значущу відмінність між реальними значеннями легеневої вентиляції і відповідними нормативними при збільшенні важкості роботи, що виконується. У той же час специфіка проведення аварійно-рятувальних робіт в метрополітені там не розглядалася.

Результати таких досліджень наведені в [23], однак вони обмежилися лише розкриттям закономірностей швидкості руху ланки (відділення) газодимозахисної служби, характерних при проведенні рятувальних робіт, в тому числі евакуації постраждалих в свідомості і без свідомості по нерухомому ескалатору на станції метрополітену глибокого залягання.

Таким чином, невирішеною частиною проблеми є відсутність даних щодо реальної витрати повітря в апаратах на стисненому повітрі у газодимозахисників при виконанні операцій, найбільш характерних для проведення аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену глибокого закладення.

### **3. Мета та завдання дослідження**

Метою дослідження є розкриття закономірностей витрати повітря при роботі газодимозахисників в апаратах на стиснутому повітрі в процесі проведення аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену глибокого закладення.

Для досягнення поставленої мети потребують вирішення наступні завдання:

Дослідити числові значення падіння тиску повітря, при виконанні окремих операцій комплексу аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену.

Виконати статистичний аналіз результатів експериментального дослідження витрати повітря.

Дослідити та оцінити співвідношення між зміною тиску в апаратах на стиснутому повітрі під час входу і виходу рятувальників.

### **4. Дослідження числових значень падіння тиску повітря**

Для вирішення поставленого завдання були розглянуті особливості витрати повітря, що пов'язані з проведенням газодимозахисників аварійно-рятувальних робіт в метрополітені в апаратах на стисненому повітрі, які стоять на озброєнні в

пожежно-рятувальних підрозділах ГУ ДСНС України в Харківській області. Для цього в процесі тактико-спеціальних навчань на станціях метрополітену глибокого закладення розглядалася оперативна робота, яка включала в себе включення в апарат, роботу з аварійно-рятувальним оснащенням, рух до потерпілих (спуск по нерухомому ескалатору) і подальшу евакуацію на свіже повітря різними способами:

- супровід тих, хто може пересуватися, але втратив здатність орієнтуватися в задимленому просторі;
- перенесення (способом на карабіні) тих, хто знаходиться в свідомості, але не здатний пересуватися самостійно;
- перенесення «постраждалих» без свідомості.

У кожному разі вимірювалося початковий тиск ( $P_{\text{поч}}$ , МПа) і тиск по закінченню виконання даної операції ( $P_{\text{кін}}$ , МПа). Це дозволило, використовуючи закон Бойля-Маріотта, перейти до оцінки витрати повітря [л/хв]

$$\omega_{\text{л}} = \frac{(P_{\text{нач}} - P_{\text{кон}}) \cdot V_{\text{б}}}{P_{\text{атм}} \cdot t}, \quad (1)$$

де  $P_{\text{атм}} \approx 0,1$  МПа – атмосферний тиск;  $V_{\text{б}} = 8$  л – обсяг балонів апаратів на стислому повітрі, які використовувалися газодимозахисників під час тактико-спеціальних навчань.

Таким чином, використання тактико-спеціальних навчань на станціях глибокого закладення Харківського метрополітену дозволяє організувати проведення експериментальних досліджень, результати яких (час виконання типових завдань ланкою (відділенням) газодимозахисної служби, а також відповідне початковий і кінцевий тиск в балонах АСП) є основою для отримання статистичних вибірок витрати повітря рятувальниками.

## 5. Статистичний аналіз результатів експериментального дослідження витрати повітря

Отримані результати по кожному виду робіт, оскільки в кожному даному випадку використовувалася вибірка з об'ємом  $n=24$ , були перевірені на нормальність розподілу за критерієм Шапіро-Уїлкі [24]. У табл.1 наведено упорядкована відповідно до цього серія отриманих показників витрати повітря для операції виносу «потерпілого» без свідомості по нерухомому ескалатору (розподіл витрат повітря при виконанні цієї операції мав найбільше значення показника скошеності).

Також в табл. 1 наведені середнє значення показника легеневої вентиляції

$$\bar{\omega}_{\text{л}} = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_{\text{л}_i}}{n}, \quad (2)$$

де  $\omega_{\text{л}_i}$  – значення показника легеневої вентиляції у  $i$ -го випробуваного, л/хв; середньоквадратичне відхилення

$$\sigma_{\omega_n} = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (\omega_{\text{Л}_i} - \bar{\omega}_{\text{Л}})^2}, \quad (3)$$

та

$$n \cdot m_2 = \sum_{i=1}^n (\omega_{\text{Л}_i} - \bar{\omega}_{\text{Л}})^2, \quad (4)$$

де  $m_2$  – вибірковий центральний момент другого порядку.

**Табл. 1. Упорядкована серія отриманих показників витрати повітря під час виносу «потерпілого» без свідомості по нерухомому ескалатору**

k	$\omega_{\text{Л}(24-k+1)}$ , л/	$\omega_{\text{Л}_k}$ , л/хв	$\bar{\omega}_{\text{Л}}$ , л/хв	$\sigma_{\omega_{\text{Л}}}$ , л/хв	$n \cdot m_2$	$\omega_{\text{Л}(24-k+1)} - \omega_{\text{Л}_k}$	$a_{n-k+1}$	$a_{n-k+1} \cdot$ $\omega_{\text{Л}(24-k+1)} - \omega_{\text{Л}_k}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	126,6	108,18	119,51	5,24	631,416	18,42	0,4493	8,276106
2	125,68	108,88				16,80	0,3098	5,20464
3	125,54	112,62				12,92	0,2554	3,299768
4	124,9	113,62				11,28	0,2145	2,41956
5	124,17	114,07				10,10	0,1807	1,82507
6	123,41	114,73				8,68	0,1512	1,312416
7	122,81	115,8				7,01	0,1245	0,872745
8	122,61	117,03				5,58	0,0997	0,556326
9	121,95	118,49				3,46	0,0764	0,264344
10	121,9	120,86				1,04	0,539	0,56056
11	121,3	120,89				0,41	0,0321	0,013161
12	121,19	120,93				0,26	0,0107	0,002782
S								24,60748
$S^2$								605,528

Наявність впорядкованої серії отриманих значень витрати повітря дозволило обчислити проміжну суму S за формулою:

$$S = \sum_{i=1}^k a_{n-i+1} \cdot (\omega_{\text{Л}(n-i+1)} - \omega_{\text{Л}_i}) = 24,607, \quad (5)$$

де k – індекс, що має значення від 1 до  $n/2 = 12$ ;  $a_{n-i+1}$ ; – коефіцієнт, який має спеціальні значення для обсягу вибірки n (його значення, наведені в табл. 1, взяті з табл.10 [24]).

Оскільки

$$W = \frac{S^2}{n \cdot m_2} = 0,959 \geq W_{\text{табл}} = 0,916, \quad (6)$$

де  $W_{\text{табл}} = 0,916$  відповідає табличному значенню для рівня значущості  $\alpha=0,05$  и  $n=24$ ;

можна вважати, що розподіл витрат повітря при роботі в АСП в процесі проведення аварійно-рятувальних робіт в метрополітені є нормальним.

В узагальненому вигляді результати аналізу того, яким чином витрачається повітря під час проведення аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену глибокого закладення, наведені в табл. 2.

**Табл. 2. Узагальнені результати витрати повітря під час проведення аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену**

Завдання	Степінь важкості роботи відповідно до [19]	$\bar{\omega}_l$ , л/хв	$\sigma_{\omega_l}$ , л/хв	Skos	W
1	2	3	4	5	6
Спуск по нерухомому ескалатору	Середньої важкості ( $\omega_{л\text{ норм}} \approx 40$ л/хв)	78,74	2,83	-0,60	1,09
Підйом по нерухомому ескалатору (супровід «постраждалого» у свідомості)	Важка ( $\omega_{л\text{ норм}} \approx 60$ л/хв)	90,25	2,86	-0,51	1,08
Винесення «потерпілого» по нерухомому ескалатору на карбінах	Дуже важка ( $\omega_{л\text{ норм}} \approx 84$ л/хв)	105,66	4,33	-0,69	0,98
Винесення «потерпілого» без свідомості по нерухомому ескалатору	Дуже важка ( $\omega_{л\text{ норм}} \approx 84$ л/хв)	119,51	5,24	-0,75	0,96
Весь комплекс рятувальних робіт в непридатному для дихання середовищі	Середньої важкості ( $\omega_{л\text{ норм}} \approx 40$ л/хв)	99,34	3,65	-0,45	0,99

Результати перевірки того, наскільки значимо відрізняються середні значення витрати повітря при роботі газодимозахисників в АСП, отримані [21] за результатами досліджень в теплодимокамерах (табл. 3) і під час проведення аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену (табл. 2), використовуючи t-критерій Стюдента, наведені в табл. 4.

**Табл. 3. Узагальнені результати витрати повітря при роботі в апаратах на стисненому повітрі в теплодимокамерах**

Завдання	Степінь важкості роботи відповідно до [19]	$\bar{\omega}_l$ , л/хв	$\sigma_{\omega_l}$ , л/хв	Skos	W
Розвідка	Середньої важкості	42,42	4,20	-0,416	1,16
Прокладка рукавної лінії до осередку пожежі	Важка	72,22	6,97	-0,305	1,07
Винесення «потерпілого» (в якості останнього використовувався манекен)	Дуже важка	87,63	6,07	-0,132	1,11
Винесення «потерпілого» (в якості останнього використовувався жива людина)	Дуже важка	93,86	5,28	-0,256	1,13

З метою вибору конкретної методики розрахунку t-критерію [24] спочатку була перевірена гіпотеза про рівність дисперсій. В якості критерію для перевірки нуль-гіпотези

$$H_0 : \sigma_{\omega_n}^2 (\text{метро}) = \sigma_{\omega_n}^2 (\text{ТДК}) \quad (7)$$

був обраний F-критерій

$$F = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2}, \quad (8)$$

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

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

$$\nu_{метро} = n_{метро} - 1 = 23; \quad \nu_{ТДК} = n_{ТДК} - 1 = 23, \quad (9)$$

де  $n_{метро} = n_{ТДК} = 24$  – кількість випробовуваних, у яких оцінювалась витрата повітря при роботі в АСП, так само [24]

$$F_{кр} = F_{табл} = 2,3. \quad (10)$$

Виходячи з цього, стандартна помилка різниці, з урахуванням того, що вибірки малого розміру ( $n < 30$ ), і число ступенів свободи  $\nu$  при обчисленні t-критерію розраховуються [24] як

$$S_{\omega_l} = \sqrt{\frac{(n_{метро} - 1) \cdot \sigma_{метро}^2 + (n_{ТДК} - 1) \cdot \sigma_{ТДК}^2}{n_{метро} + n_{ТДК} - 2} \cdot \left( \frac{1}{n_{метро}} + \frac{1}{n_{ТДК}} \right)}; \quad (11)$$

$$n_{метро} + n_{ТДК} - 2 = 46. \quad (12)$$

**Табл. 4. Порівняння показників витрати повітря газодимозахисників, що були отримані в теплодимокамерах і під час проведення аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену глибокого закладення**

Ступінь важкості аварійно-рятувальних робіт що виконуються в метрополітені	F	$F_{кр}$	$S_{\omega_l}$	$\nu$	$t_{набл}$	$t_{дадане}$ ( $\alpha = 0,05$ )
1	2	3	4	5	6	7
Середньої важкості (спуск по нерухомому ескалатору)	2,20	2,3	1,03	46	35,33	2,01
Важка (підйом по нерухомому ескалатору)	5,94	2,3	0,65	46	11,72	2,01
Дуже важка (винос «потерпілого» по ескалатору на карабіни)	1,49	2,3	1,39	46	8,47	2,01
Дуже важка (винос «потерпілого» по нерухомому ескалатору)	1,02	2,3	1,52	46	16,89	2,01
Середньої важкості (весь комплекс аварійно-рятувальних робіт в непридатному для дихання середовищі)	1,02	2,3	1,16	46	50,29	2,01

В результаті

$$t_{\text{набл}} = \frac{|\bar{\omega}_l (\text{метро}) - \bar{\omega}_l (\text{ТДК})|}{S_{\omega_l}} \quad (13)$$

Таким чином, закономірністю витрати повітря при проведенні аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену глибокого закладення є нормальна функція розглянутого показника. При всіх режимах роботи в АСП витрата повітря вище не тільки нормативних показників легеневої вентиляції, але і показників витрати повітря при виконанні відповідних завдань в теплдимокамерах. Параметри відповідних розподілів отримані з рівнем значущості  $\alpha = 0,05$ , що дозволяє їх використовувати для обґрунтування практичних рекомендацій.

### 6. Дослідження та оцінка співвідношення між зміною тиску

Для того, щоб в АСП було достатньо повітря для безпечного виходу ланки (відділення) газодимозахисної служби з непридатного для дихання середовища газодимозахисники повинні своєчасно припинити проведення аварійно-рятувальних робіт в непридатному для дихання середовищі. В [22, 25] відзначено, що при роботі в АСП мінімальний тиск в балонах на момент виходу розраховується як

$$P_{\text{вих}} = P_{\text{вх}} + P_{\text{рез}}, \quad (14)$$

де  $P_{\text{вх}}$  – величина, на яку зменшився тиск за час руху до місця роботи, МПа;  $P_{\text{рез}}$  – певний рівень показника тиску повітря, який необхідно зарезервувати на непередбачені обставини, МПа (для АСВ-2  $P_{\text{рез}} = 3$  МПа, для інших апаратів на стислому повітрі  $P_{\text{рез}} = 5$  МПа).

У той же час результати, отримані в 4.2, які в узагальненому вигляді наведено на рис. 1, свідчать про те, що необхідно враховувати різницю у витраті повітря при спуску і підйомі газодимозахисників.

Крім цього, необхідно враховувати і відповідну зміну швидкості їх руху. Так, в [23] відзначено, що вона описується за допомогою  $\beta$ -розподілу

$$F(v) = \begin{cases} \frac{(v - v_{\min})^{\alpha-1} \cdot (v_{\max} - v)^{\beta-1}}{(v_{\max} - v_{\min})^{\alpha+\beta+1} \cdot B(\alpha, \beta)} & \text{при } v_{\min} < v < v_{\max}; \\ 0 & \text{при } v \leq v_{\min}, v \geq v_{\max}, \end{cases} \quad (15)$$

де  $v_{\min}$ ,  $v_{\max}$  – мінімальна і, відповідно, максимальна швидкість руху, м/хв;  $\alpha$ ,  $\beta$  – параметри  $\beta$ -розподілу;  $B(\alpha, \beta)$  –  $\beta$ -функція Ейлера.

Представлені в [23] результати, що характеризують швидкість руху газодимозахисників по нерухомому ескалатору, можна відобразити у вигляді залежностей, наведених на рис. 2, де всередині дужок наведені такі параметри розподілу ( $v_{\min}; v_{\max}; \alpha; \beta$ ).



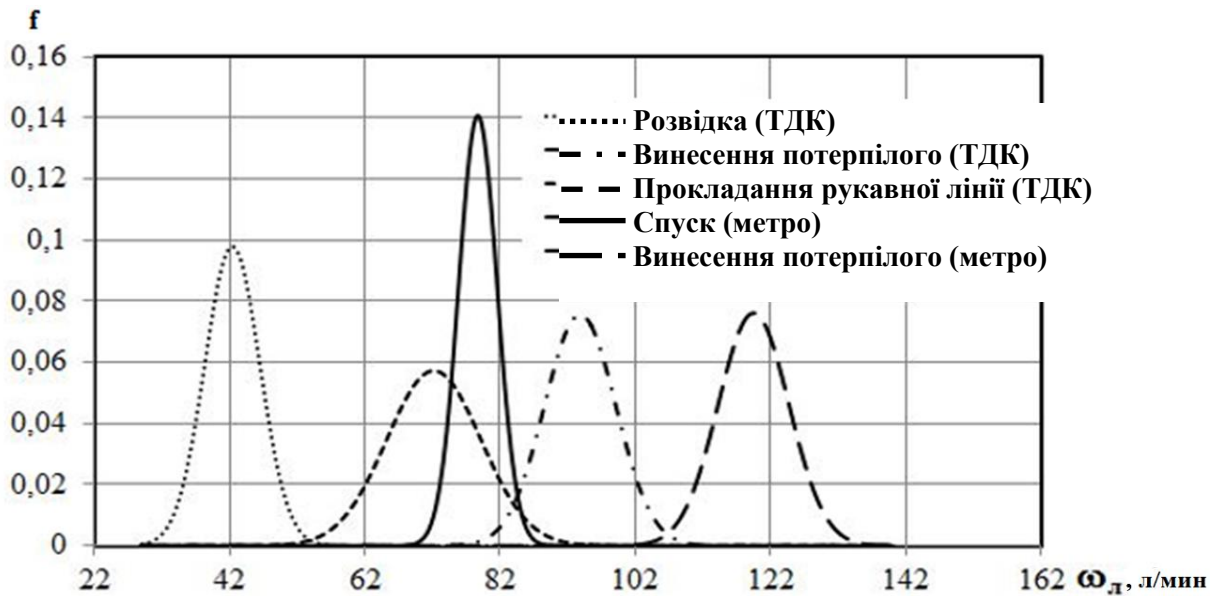


Рис. 1. Розподіл витрати повітря при роботі газодимозахисників в АСВ в залежності від характеру завдання що виконується

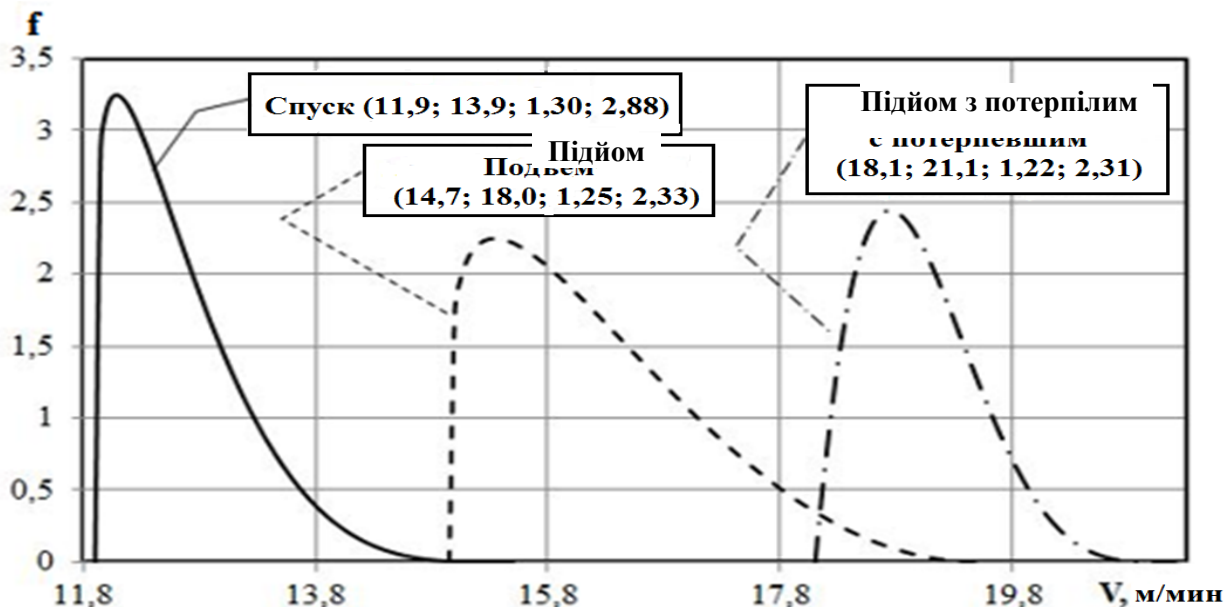


Рис. 2. Розподіл швидкості  $v$  руху рятувальників в АСП по нерухомому ескалатору

Отже, якщо врахувати різницю у витраті повітря при спуску газодимозахисників  $\bar{\omega}_{\text{лвх}}$  і підйому по нерухомому ескалатору з потерпілим без свідомості  $\bar{\omega}_{\text{лвих}}$  (див. рис. 1), які при однаковій відстані  $S$  до місця роботи визначають час входу  $t_{\text{вх}}$  і виходу  $t_{\text{вих}}$  ланки або відділення газодимозахисної служби, а відповідно і швидкість руху газодимозахисників по нерухомому ескалатору, то, використовуючи закон Бойля-Маріотта і порядок визначення витрати повітря, а також без урахування кількості повітря, яке необхідно зарезервувати на непередбачені обставини, можна отримати співвідношення між зміною тиску в АСП під час входу і виходу газодимозахисників

$$\frac{P_{\text{вих}}}{P_{\text{вх}}} = \frac{Q_{\text{вих}} \cdot P_a / V_6}{Q_{\text{вх}} \cdot P_a / V_6} = \frac{\bar{\omega}_{\text{лвих}} \cdot t_{\text{вих}}}{\bar{\omega}_{\text{лвх}} \cdot t_{\text{вх}}} = \frac{\bar{\omega}_{\text{лвих}} \cdot S / \bar{v}_{\text{вих}}}{\bar{\omega}_{\text{лвх}} \cdot S / \bar{v}_{\text{вх}}} =$$

$$= \frac{\bar{\omega}_{\text{вих}} \cdot \bar{v}_{\text{вх}}}{\bar{\omega}_{\text{вх}} \cdot \bar{v}_{\text{вих}}} \approx \frac{120 \cdot 19}{79 \cdot 12,5} \approx 2,3 ,$$
(16)

де  $\bar{v}_{\text{вх}} \approx 19$  м/хв,  $\bar{v}_{\text{вих}} \approx 12,5$  м / хв – середня швидкість руху газодимозахисників при спуску і підйомі по нерухомому ескалатору, відповідно [23].

Таким чином, використання при виведенні співвідношення (16) вихідних даних, отриманих з рівнем значущості  $\alpha = 0,05$ , дозволяє використовувати його не тільки для обґрунтування рекомендацій, пов'язаних з підвищенням ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену глибокого закладення ланкою (відділенням) ГДЗС без зниження рівня безпеки газодимозахисників, а й для уточнення розрахункових співвідношень, які повинні використовуватися на посту безпеки ГДЗС.

Крім цього для восьмилітрових балонів АСП постовий на посту безпеки може використовувати спрощені співвідношення при виконанні розрахунків часу роботи, спираючись на показник швидкості падіння тиску  $\frac{\Delta P}{\Delta t}$  при спуску по нерухомому ескалатору

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{\Delta Q \cdot P_a}{\Delta t \cdot V_6} = \left. \begin{array}{l} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \omega \approx 80 \text{ л/хв;} \\ V_6 = 8 \text{л} P_a \approx 0,1 \text{М,} 1 \end{array} \right| \approx 1 \text{МПа/хв} ,$$
(17)

а при підйомі по нерухомому ескалатору, розмірковуючи аналогічно,  $\frac{\Delta P}{\Delta t} \approx 1,5$  МПа/хв.

Так, з урахуванням того, що швидкість падіння тиску під час розвідки і проведення невідкладних робіт біля осередку надзвичайної ситуації становить 1 МПа/хв, розрахунковий час припинення розвідки визначається як

$$t_{\text{прип розв}} = \begin{cases} t_{\text{включення}} + \frac{P_{\text{поч}}}{4}, \text{ якщо тиск вимірюється в МПа;} \\ t_{\text{включення}} + \frac{P_{\text{поч}}}{40}, \text{ якщо тиск вимірюється в кгс/см}^2, \end{cases}$$
(18)

а розрахунковий час повернення ланки (з урахуванням того, що під час підйому з потерпілим швидкість падіння тиску становить 1,5 МПа/хв) як

$$t_{\text{прип розв}} = t_{\text{включення}} + \frac{1/4 \cdot P_{\text{поч}}}{1} + \frac{3/4 \cdot P_{\text{поч}}}{1,5} =$$

$$= \begin{cases} t_{\text{включення}} + \frac{3 \cdot P_{\text{поч}}}{4}, \text{ якщо тиск вимірюється в МПа;} \\ t_{\text{включення}} + \frac{3 \cdot P_{\text{поч}}}{40}, \text{ якщо тиск вимірюється в кгс/см}^2, \end{cases}$$
(19)

## 5. Обговорення результатів розкриття закономірностей витрати повітря

Статистичний аналіз отриманих експериментальних результатів (табл. 2) показує, що, незважаючи на виражену негативну скошеність (графа 5 табл. 2) вихідних даних, отриманих при виконанні кожного завдання, закономірністю витрати повітря при проведенні аварійно-рятувальних робіт в метрополітені є нормальна функція розглянутого показника, незалежно від регламентованої важкості роботи, яка виконується (рис. 1). При цьому середні значення витрати повітря гірше нормованих показників легеневої вентиляції, які рекомендуються для розрахунку часу роботи в АСП.

Аналіз табл.4 (див. графи 2 і 3) дає підстави стверджувати, що в розглянутих випадках допускається рівність дисперсій при виконанні робіт, що відносяться до виконання робіт з однаковим ступенем важкості. Виняток становить випадок, коли порівнюється прокладка рукавної лінії в теплодимокамерах і підйом по нерухомому ескалатору. Це може бути пояснено тим, що прокладка рукавної лінії в теплодимокамерах ставить більше невизначених завдань і, відповідно, нових вимог до газодимозахисників (наприклад, здатності орієнтуватися в просторі) в порівнянні з підйомом по нерухомому ескалатору, коли напрямок руху строго задано, і не складно його дотримуватися. Крім цього, можна говорити, з огляду на результати, наведені в стовпчиках 6 і 7 табл.4, що з рівнем значущості  $\alpha = 0,05$  витрати повітря при роботі газодимозахисників в АСП на станціях метрополітену глибокого закладення істотно відрізняються від витрати повітря при проведенні аварійно-рятувальних робіт в інших умовах (див. рис.1). Звісно, що і реальні значення витрати повітря в процесі роботи рятувальників в метрополітені істотно відрізняються від рекомендованих в нормативній та довідковій літературі.

Отримане співвідношення між зміною тиску в балонах АСП під час входу і виходу газодимозахисників (16) з урахуванням показника тиску повітря  $P_{рез}$ , який необхідно зарезервувати на непередбачені обставини, показує, що мінімальний тиск на момент виходу  $P_{вих}$  повинен бути в три рази більше величини  $P_{вх}$ , на яку зменшився тиск за час руху до місця надзвичайної ситуації. Одночасно це співвідношення дає і важливу практичну рекомендацію щодо визначення моменту, коли ланка (відділення) газодимозахисної служби має припинити розвідку, – рятувальники повинні почати повернення до посту безпеки при зменшенні тиску в АСП у будь-якого з газодимозахисників на одну четверту початкового  $P_{поч}$  тиску.

Використання спрощених співвідношень (17)÷(19) дасть можливість постового на посту безпеки приділити більше уваги підготовці ланки газодимозахисної служби та контролю його роботи в процесі проведення рятувальних робіт на станціях метрополітену глибокого закладення.

## 6. Висновки

Досліджено числові значення падіння тиску повітря в апаратах на стиснутому повітрі при виконанні окремих операцій комплексу аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену. При цьому рятувальники виконували окремі операції різного ступеня важкості. Отримано значення падіння тиску для операцій супровід тих, хто може пересуватися, але втратив здатність орієнтуватися в задимленому просторі ( $P_1 \approx 1,1$  МПа); перенесення (способом на карабіни) тих, хто знаходиться в свідомості, але не здатний пересуватися

самостійно ( $P_2 \approx 1,3$  МПа); винесення «потерпілого» без свідомості по нерухомому ескалатору ( $P_3 \approx 1,5$  МПа). Показано, що при збільшенні важкості роботи, падіння тиску повітря в балонах збільшується пропорційно. Встановлено, що відповідний початковий і кінцевий тиск в балонах АСП є основою для отримання статистичних вибірок витрати повітря рятувальниками.

Досліджено закономірності витрати повітря при проведенні аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену глибокого закладення, які описуються нормальною функцією розглянутого показника. Отримано витрати повітря при всіх режимах роботи в АСП, які перевищують ( $\omega_{\text{л Метро}} \approx 120$  л/хв.) не тільки нормативні показники легеневої вентиляції ( $\omega_{\text{л норм}} \approx 84$  л/хв.), але і показники витрати повітря при виконанні відповідних завдань в теплодимокамерах ( $\omega_{\text{л ТДК}} \approx 102$  л/хв.). Показано, що параметри відповідних розподілів, які отримані з рівнем значущості  $\alpha=0,05$ , дозволяє їх використовувати для обґрунтування практичних рекомендацій. Розроблено спрощені співвідношення для розрахунку тимчасових характеристик виконання завдань ланкою (відділенням) газодимозахисної служби, які спираються на розкриті закономірності витрати повітря в АСП при проведенні аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену глибокого закладення. Встановлено, що реальні значення показників витрати повітря значно гірше нормованих показників легеневої вентиляції, які рекомендуються для розрахунку часу роботи в теперішній час. При цьому використання запропонованих спрощених співвідношень дасть можливість постовому на посту безпеки приділити більше уваги підготовці ланки газодимозахисної служби та контролю її роботи в процесі проведення рятувальних робіт.

Досліджено співвідношення між зміною тиску в апаратах під час входу і виходу газодимозахисників. Отримано відношення між зміною тиску в АСП під час входу і виходу газодимозахисників з потерпілим без свідомості по нерухомому ескалатору. Показано ефективність його використання для обґрунтування рекомендацій, пов'язаних з уточненням розрахункових співвідношень, які використовуються на посту безпеки газодимозахисної служби. Встановлено, що швидкість падіння тиску під час розвідки і проведення невідкладних робіт біля осередку надзвичайної ситуації становить 1 МПа/хв., під час підйому з потерпілим швидкість падіння тиску становить 1,5 МПа/хв., а в нормативних документах пропонується приймати 0,7 МПа/хв.

### Література

1. Беляцкий В. П., Павлов Г. П. Методическое пособие по организации и тактике тушения пожаров на объектах метрополитена. М., 2016. 156 с.
2. Настанова з організації газодимозахисної служби в підрозділах Оперативно-рятувальної служби МНС України: Наказ МНС України № 1342 від 16 грудня 2011 р.: М-во надзв. сит. України, 2011. 56 с.
3. ДСТУ EN 137:2002. Видання. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Автономні резервуарні дихальні апарати зі стисненим повітрям. Вимоги, випробування, маркування. Київ, 2013. 55 с. (Інформація та документація).
4. Ковальов П. А., Стрілець В. М., Єлізаров О. В., Безуглов О. Є. Основи створення та експлуатації апаратів на стисненому повітрі: навч. посіб. Харків: АЦЗУ, 2011. 359 с.
5. Рекомендації для вивчення повітряних протигазів “Drager” PA 90 SERIES {PA 92} у підрозділах гарнізонів пожежної охорони. К.: УДПО МВС України, 2015. 19 с.

6. An official website of the United States government. «Occupational Safety and Health Administration». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.osha.gov/about.html>
7. 29 CFR 1910/156. Fire brigades. General requirements. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owalink.query\\_links?src\\_doc\\_type=STANDARDS&src\\_unique\\_file=1910\\_0156&src\\_anchor\\_name=1910.156](https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owalink.query_links?src_doc_type=STANDARDS&src_unique_file=1910_0156&src_anchor_name=1910.156)
8. OSHA 1910.134 Respiratory Protection. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show\\_document?p\\_table=STANDARDS&p\\_id=12716](https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=12716)
9. NFPA 1001: Standard for Fire Fighter Professional Qualifications. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards?mode=code&code=1001>
10. Becoming a Firefighter. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.nh.gov/safety/divisions/fstems/training/becomff.html>
11. Recruitment. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.fire.nsw.gov.au/page.php?id=2>
12. NFPA Awareness: Describing the Concepts of JPRs and Revising Text. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.nfpa.org/Assets/files/AboutTheCodes/1001/Concepts\\_JPRs\\_ReviseText.pdf](http://www.nfpa.org/Assets/files/AboutTheCodes/1001/Concepts_JPRs_ReviseText.pdf)
13. F. Michael Williams-Bell, Geoff Boisseau, John McGill, Andrew Kostiuk, Richard L. Hughson Physiological responses and air consumption during simulated firefighting tasks in a subway system. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 2010. V. 35(5). P. 671–678. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://doi.org/10.1139/H10-061>
14. 42 CFR 84 - APPROVAL OF RESPIRATORY PROTECTIVE DEVICES. Subpart H-Self-Contained Breathing Apparatus. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/CFR-2012-title42-vol1/pdf/CFR-2012-title42-vol1-part84-subpartH.pdf>
15. Bernzweig D. Expanding “time to exit” for firefighters. *Fire Engineering*. V. 157(6). P. 63–74. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.fireengineering.com/articles/print/volume-157/issue-6/features/expanding-time-to-exit-for-firefighters.html>
16. Kamon E, Doyle D, Kovac J. The oxygen cost of an escape from an underground coal mine. *American Industrial Hygiene Association Journal*. V. 44(7). P. 552–555. Published online on August 13, 2012. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://europemc.org/article/med/6613859>
17. Pollard J. P., Heberger J. R., Dempsey P. G. Development of a model to determine oxygen consumption when crawling. *Trans Soc Min Metall Explor Inc*. 2015. V. 338(1). P. 441–447. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26997858#>
18. Kathleen M. Kowalski-Trakofler, Charles Vaught & Michael J. Brnich Jr. Expectations Training for Miners Using Self-Contained Self-Rescuers in Escapes from Underground Coal Mines. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. V. 5:10. P. 671–677. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15459620802333632>
19. V. Louhevaara, J. Smolander, O. Korhonen, T. Tuomi Maximal working times with a self-contained breathing apparatus. *Ergonomics*. V. 29:1. P. 77–85. Pub-

lished online July 6, 2010. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00140138608968242>

20. Randy W. Dreger, Richard L. Jones & Stewart R. Petersen Effects of the self-contained breathing apparatus and fire protective clothing on maximal oxygen uptake. *Ergonomics*. V. 49:10. P. 911–920. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00140130600667451>

21. Phillips D. B., Stickland M. K., Lesser I. A. et al. The effects of heavy load carriage on physiological responses to graded exercise. *Eur J Appl Physiol*. 2016. V. 116. P. 275. Режим доступу: <https://doi.org/10.1007/s00421-015-3280-z>

22. Настанова з організації газодимозахисної служби в підрозділах Оперативно-рятувальної служби МНС України : Наказ МНС України № 1342 від 16 грудня 2011 р.: М-во надзв. сит. України. 2011. 56 с.

23. ДСТУ EN 137:2002. Видання. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Автономні резервуарні дихальні апарати зі стисненим повітрям. Вимоги, випробування, маркування. Київ, 2013. 55 с. (Інформація та документація).

24. Ковальов П. А., Стрілець В. М., Єлізаров О. В., Безуглов О. Є. Основи створення та експлуатації апаратів на стисненому повітрі: навч. посіб. Харків: АЦЗУ, 2011. 359 с.

25. Рекомендації для вивчення повітряних протигазів “Drager” PA 90 SERIES {PA 92} у підрозділах гарнізонів пожежної охорони. К.: УДПО МВС України, 2015. 19 с.

26. Стрелец В. М. Сравнительный анализ закономерностей расхода запаса воздуха при работе спасателей в аппаратах на сжатом воздухе // Збірник наукових праць Харківського університету повітряних сил. 2014. Випуск 4 (41). С. 150–153.

27. Стрілець В. М., Бородич П. Ю., Росоха С. В. Закономірності діяльності рятувальників при проведенні аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену: моногр. НУЦЗУ. Х.: КП «Міська друкарня», 2012. 112 с.

28. Халафян А. А. STATISTICA 6 Статистический анализ данных. М.: ООО «Бином-Пресс», 2017. 512 с.

29. Ковальов П. А., Стрілець В. М. Вдосконалення методики розрахунку часу роботи в ізолюючих апаратах // Проблемы пожарной безопасности. 2011. № 22. С. 101–105.

30. Росоха С. В., Стрілець В. М., Бородич П. Ю., Ковальов П. А. Визначення особливостей роботи рятувальників в ізолюючих протигазах // Проблеми надзвичайних ситуацій. 2011. № 13. С. 47–57.

*P. Borodych<sup>1</sup>, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department*

*P. Kovalov<sup>1</sup>, PhD, Associate Professor, Head of Department*

*V. Strilec<sup>2</sup>, Researcher*

*A. Myroshnychenko<sup>1</sup>, Head of the club*

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

*<sup>2</sup>LLC «Brand Trade», Kharkiv, Ukraine*

## **LAWS OF THE AIR FLOW IN SCBA DURING THE RESCUE OPERATIONS IN THE DEEP FOUNDATION SUBWAY STATIONS**

The technical capabilities of compressed air devices that are in service in fire and rescue subdivisions are considered, if they are used by personnel of the units (departments) of the gas and smoke protection service during emergency rescue operations at deep underground metro stations, which are the most dangerous when they occur on fire or other emergency. In the course of the study,

the results of special tactical exercises at deep-laid stations of the Kharkiv metro were used, which were organized in such a way that the times obtained experimentally for the execution of typical tasks by gas and smoke defenders, as well as the corresponding indicators of the initial and final pressure in cylinders of compressed air apparatus, became the basis for obtaining statistical samples of consumption air rescuers. The analysis of the results made it possible, with a significance level of  $\alpha = 0.05$ , to show that the regularity of the air consumption in compressed air machines during the rescue operations at deep underground metro stations is the normal function of the indicator under consideration. It is noted that in all modes of operation in compressed air machines, the air consumption is higher not only the standard indicators of pulmonary ventilation, but also the indicators of the air consumption when performing the corresponding tasks in the heat-smoke chamber. The obtained ratio of the pressure change in compressed air machines when performing individual operations by gas and smoke defenders makes it possible to use it to substantiate recommendations related to clarifying the calculated ratios used at the security post of the gas and smoke protection service. It is shown that the minimum pressure in compressed air machines at the moment of exit should be three times the value by which the pressure decreased during the movement to the place of the emergency. On the basis of the revealed regularities, expressions are recommended for simplified calculations of the time of termination of exploration and the return of a link (section) of the gas and smoke protection service to clean air. The use of the proposed simplified relationships will allow the guard at the security post to pay more attention to the preparation of the link of the gas and smoke protection service and control of its work in the process of carrying out rescue operations.

**Keywords:** compressed air apparatus, air consumption, metro, emergency and rescue work, gas and water defender

### References

1. Belyatskiy, V., Pavlov, G. (2017). Methodological manual on the organization and tactics of extinguishing fires at metro facilities.
2. Nastanova on the organization of the gas supply and control service in the departments of the Operational Service of the Ministry of Taxes and Duties of Ukraine: Order of the Ministry of Taxes and Duties of Ukraine No. (2011). 1342 dated 16 March 2011: Ministry of Supervision sieve. Ukraine, 56.
3. DSTU EN 137: 2002. (2013). Vidanna. Give yourself up to the individual zaist of the organs of society. Autonomous reservoir technical equipment for the restraint. Vimogi, viprobuvannya, markuvannya. Kiev, 55. (Information and documentation).
4. Kovalov, P. A., Strelets, V. M., Alizarov, O. V., Bezuglov, O. Y. (2011). Fundamentals of the establishment and operation of devices on a compressed basis: navch. posib. Kharkiv: ATSZU, 359.
5. Recommendations for vivchenia of displaced counterparts "Drager" PA 90 SERIES {PA 92} at children of garnizons of fire protection. (2015). K.: UDPO MVS Ukrainy, 19.
6. An official website of the United States government. «Occupational Safety and Health Administration». [Electronic resource]. Access mode: <https://www.osha.gov/about.html>
7. 29 CFR 1910/156. Fire brigades. General requirements. [Electronic resource]. - Access mode: [https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owalink.query\\_links?src\\_doc\\_type=STANDARDS&src\\_unique\\_file=1910\\_0156&src\\_anchor\\_name=1910.156](https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owalink.query_links?src_doc_type=STANDARDS&src_unique_file=1910_0156&src_anchor_name=1910.156)
8. OSHA 1910.134 Respiratory Protection. [Electronic resource]. - Access mode: [https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show\\_document?p\\_table=STANDARDS&p\\_id=12716](https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=12716)
9. NFPA 1001: Standard for Fire Fighter Professional Qualifications. [Electronic resource]. Access mode: <http://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards?mode=code&code=1001>

10. Becoming a Firefighter. [Electronic resource]. Access mode: <https://www.nh.gov/safety/divisions/fstems/training/becomff.html>
11. Recruitment. [Electronic resource]. Access mode: <http://www.fire.nsw.gov.au/page.php?id=2>
12. NFPA Awareness: Describing the Concepts of JPRs and Revising Text. [Electronic resource]. Access mode: [http://www.nfpa.org/Assets/files/AboutTheCodes/1001/Concepts\\_JPRs\\_ReviseText.pdf](http://www.nfpa.org/Assets/files/AboutTheCodes/1001/Concepts_JPRs_ReviseText.pdf)
13. F. Michael Williams-Bell, Geoff Boisseau, John McGill, Andrew Kostiuk, Richard L. Hughson Physiological responses and air consumption during simulated firefighting tasks in a subway system. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 2010, 35(5), 671–678. [Electronic resource]. Access mode: <https://doi.org/10.1139/H10-061>
14. 42 CFR 84 - APPROVAL OF RESPIRATORY PROTECTIVE DEVICES. Subpart H — Self-Contained Breathing Apparatus. [Electronic resource]. Access mode: <https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/CFR-2012-title42-vol1/pdf/CFR-2012-title42-vol1-part84-subpartH.pdf>
15. Bernzweig, D. Expanding “time to exit” for firefighters. *Fire Engineering* 157(6), 63–74. [Electronic resource]. Access mode: <https://www.fireengineering.com/articles/print/volume-157/issue-6/features/expanding-time-to-exit-for-firefighters.html>
16. Kamon, E, Doyle, D, Kovac, J. (2012). The oxygen cost of an escape from an underground coal mine. *American Industrial Hygiene Association Journal*. 44(7), 552–555. Published online on August 13. [Electronic resource]. Access mode: <https://europepmc.org/article/med/6613859>
17. Pollard, J. P., Heberger, J. R., Dempsey, P. G. (2015). Development of a model to determine oxygen consumption when crawling. *Trans Soc Min Metall Explor Inc*, 338(1), 441–447. [Electronic resource]. Access mode: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26997858#>
18. Kathleen, M. Kowalski-Trakofler, Charles Vaught & Michael J. Brnich Jr. Expectations Training for Miners Using Self-Contained Self-Rescuers in Escapes from Underground Coal Mines. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 5(10), 671–677. [Electronic resource]. Access mode: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15459620802333632>
19. V. Louhevaara, J. Smolander, O. Korhonen, T. (2010). Tuomi Maximal working times with a self-contained breathing apparatus. *Ergonomics*, 29(1), 77–85. Published online July 6, [Electronic resource]. Access mode: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00140138608968242>
20. Randy, W. Dreger, Richard, L. Jones & Stewart, R. Petersen Effects of the self-contained breathing apparatus and fire protective clothing on maximal oxygen uptake. *Ergonomics* 49:10, 911–920. [Electronic resource]. Access mode: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00140130600667451>
21. Phillips, D. B., Stickland, M. K., Lesser, I. A. et al. (2016). The effects of heavy load carriage on physiological responses to graded exercise. *Eur J Appl Physiol*, 116: 275. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00421-015-3280-z>
22. Nastanova on the organization of the gas supply and control service in the departments of the Operational Service of the Ministry of Taxes and Duties of Ukraine: Order of the Ministry of Taxes and Duties of Ukraine No. (2011). 1342 dated 16 March 2011: Ministry of Supervision sieve. Ukraine, 56.



23. DSTU EN 137: 2002. (2013). Vidanna. Give yourself up to the individual zaist of the organs of society. Autonomous reservoir technical equipment for the restraint. Vimogi, viprobuvannya, markuvannya, Kiev, 55. (Information and documentation).

24. Kovalov, P. A., Strelets, V. M., Alizarov, O. V., Bezuglov, O. Y. (2011). Fundamentals of the establishment and operation of devices on a compressed basis: navch. posib. Kharkiv: ATSZU, 359.

25. Recommendations for vivchenia of displaced counterparts "Drager" PA 90 SERIES {PA 92} at children of garnizons of fire protection. (2015). K.: UDPO MVS Ukrainy, 19.

26. Strelets, V. M. Comparative analysis of regularities of air supply consumption when rescuers work in compressed air devices. (2014). Book of Science Prats of Kharkiv University of Applied Sciences, 4(41), 150–153.

27. Strelets, V. M., Borodich, P. Yu., Rosokha, S. V. (2012). Laws of performance of workers in carrying out emergency operations at metropolitan stations: monograph. NUTSU. Kh., KP "Miska Drukarnya", 112.

28. Khalafyan, A. A. (2017). STATISTISA 6 Statistical data analysis. M.: OOO "Binom-Press", 512.

29. Kovalov, P. A., Strelets, V. M. (2011). Incomprehensive methods of rooting for an hour in robots in insoluble devices. Problems of fire safety, 22, 101–105.

30. Rosokha, S. V., Strelets, V. M., Borodich, P. Yu., Kovalov, P. A. (2011). The value of the peculiarities of robots in izoluyushchie protigaz // Problems of supervised situations, 13, 47–57.

Надійшла до редколегії: 01.04.2020

Прийнята до друку: 23.04.2020