

УДК 622.867:623.455.1

DOI: <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2024.8.2.15.26>

Олександр ГАВРИЛКО, канд. техн. наук, доцент (ORCID: 0000-0003-3084-8881),
Національний університет «Львівська політехніка»,
Юрій ДЕНДАРЕНКО, канд. техн. наук, доцент (ORCID: 0009-0009-6840-4339),
Валентин ДИВЕНЬ, канд. іст. наук, доцент (ORCID: 0000-0002-5342-8858),
Олександр БЛАЩУК (ORCID: 0009-0007-5210-1515),
Національний університет цивільного захисту України

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ТЕПЛООБМІНУ В ОХОЛОДЖУЮЧОМУ ЖИЛЕТІ ПРИ ЛІКВІДАЦІЇ НС

Стаття присвячена дослідженню процесу теплообміну в охолоджуючому жилеті при ліквідації НС в умовах ергономічних навантажень.

В умовах військового стану при проведенні аварійно-рятувальних робіт підрозділами ДСНС МВС України, в результаті нанесення ракетно-бомбових ударів виникають екстремальні мікрокліматичні умови (підвищена температура, підвищена і понижена вологість, швидкість руху повітря, загазованість, щільне задимлення).

Проведення аварійно-рятувальних робіт на пожежах та ліквідації аварій вимагає від особового складу Оперативно-рятувальної служби ДСНС швидкого реагування на аварійні ситуації, прийняття ефективних технічних рішень, високого професіоналізму та пов'язане з високими фізичними та психоемоційними навантаженнями на організм пожежника-рятувальника [1].

Найефективнішим заходом, спрямованим на збереження здоров'я і життя працівників в цих умовах, є застосування методів і засобів індивідуального протитеплого захисту, чому присвячена ця стаття, яка підготовлена на підставі результатів наукових досліджень з пожежної безпеки, охорони праці пожежника-рятувальника, гірничого рятувальника.

Згідно з «Правилами безпеки праці в органах і підрозділах Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи» та «Правилами безпеки у вугільних шахтах» в гірничих виробітках, де постійно (впродовж зміни) знаходяться люди, допустима температура повітря не повинна перевищувати 26° [2; 3].

У статті досліджено результати експериментальних досліджень енергоспоживання та теплового стану організму пожежників у охолоджуючому жилеті.

Основними складовими теплового балансу, від яких залежить тривалість роботи пожежника-рятувальника, є внутрішня енергія, що виробляється її організмом – теплопродукція організму, яка, в свою чергу, залежить від величини витрат енергії та зовнішня енергія, яка проникає ззовні. При цьому зовнішня енергія, як правило, незалежний від людини фактор, а внутрішня енергія залежить від багатьох параметрів.

Ключові слова: *пожежник-рятувальник, процес тепломасообміну, ергономічні навантаження, температура тіла, охолоджуючий жилет.*

Постановка проблеми. Під час пожежі та ліквідації НС виникають екстремальні мікрокліматичні умови (підвищена температура, підвищена і понижена вологість, швидкість руху повітря, загазованість, щільне задимлення).

При проведенні досліджень була поставлена мета, яка переслідувала ціль підвищення теплової стійкості для виконання важкої фізичної роботи в зоні нагріваючого мікроклімату при роботі у дихальному апараті в охолоджуючому жилеті на пожежі, або ліквідації аварій у зонах з високими температурами.

Результати досліджень показали, що за рахунок більш тривалого часу роботи рятувальників в захисному костюмі або жилеті у них відзначалися менші швидкості приросту температури тіла в пакеті матеріалу жилету, середньозваженої температури шкіри, середньої температури тіла, теплонакопичення, вологовтрати. Дані швидкості зміни теплового стану організму свідчать про підвищення теплової стійкості пожежників-рятувальників під впливом щомісячних тренувань у захисному костюмі. За рахунок раціонального функціонування механізмів терморегуляції в охолоджуючому жилеті значно підвищується час роботи в умовах гіпертермії.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Захист життя і здоров'я рятувальників є пріоритетом держави.

Тому засобам захисту працівників приділяється значна увага. Одним із напрямів є встановлення особливих вимог до конструкції охолоджуючого жилету для виконання робіт при ліквідації наслідків ракетно-бомбових ударів по інфраструктурі і житловому сектору України.

Великий вклад в розробку, створення і впровадження засобів індивідуального протигазотеплового захисту пожежників-рятувальників і гірничих рятувальників, внесли вчені та конструктори: Пашковський П.С., Землянський І.Я., Рибалко А.П., Клименко Т.В., Карпекін В.В., Вольський, В.А., Марійчук І.П., Онасенко А.А., які виконували роботи на цій тематиці на ранній стадії вирішення проблеми протитеплового захисту пожежників-рятувальників та ін.

В подальшому наукові дослідження та їх результати публікувались у наукових статтях Гаврилко О.А. «Математична модель тепломасопереносу в газотеплозахисному костюмі з водольодяними акумуляторами холоду» (2008 р.), Гаврилко О.А., Дендаренко Ю.Ю. «Процеси тепломасопереносу у газотеплозахисному костюмі з водольодяними акумуляторами холоду» (2018 р.), Гаврилко О.А., Дендаренко Ю.Ю. «Експериментальні дослідження енерговитрат і теплового стану організму пожежників в захисному одязі» (2023 р.).

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття. Відповідно до проведених раніше досліджень [4-8], методи і засоби мають похибки, тому доцільно провести додаткове дослідження процесу теплообміну саме в охолоджуючому жилеті при ліквідації НС.

В існуючих наукових роботах моделювались процеси тепломасопереносу у захисному одязі, чоботах та рукавицях пожежника-рятувальника і не перевірялася можливість застосування у роботі в завалах окремо охолоджуючого жилету.

З огляду на це, для проведення досліджень процесу теплообміну в охолоджуючому жилеті при ліквідації НС є актуальною задачею.

Постановка задачі та її розв’язання. Для вирішення поставленої мети, а саме: дослідження процесу теплообміну в охолоджуючому жилеті при ліквідації НС було зазначено ряд задач:

- проаналізувати залежність допустимої тривалості роботи (ДТР) рятувальника в спецодязі (без охолодження) і в спецодязі з охолоджуючим жилетом від різних факторів;

- встановити допустиму тривалість роботи рятувальника в спецодязі і в охолоджуючому жилеті (одне спорядження ОЕ-2) при енерговитратах 320 Вт і відносній вологості повітря 100%;

- встановити допустиму тривалість роботи рятувальника в спецодязі та охолоджуючому жилеті (одне спорядження ОЕ-2) при енергозатратах 320 Вт і швидкості руху повітря 2 м/с;

- встановити допустиму тривалість роботи рятувальника без охолоджуючого жилета і в охолодному жилеті (при одноразовому оснащенні охолоджуючими елементами (ОЕ-2) в залежності від енерговитрат: 1 - 320 Вт; 2 - 480 Вт; 3 - 640 Вт.

Виклад основного матеріалу дослідження процесу теплообміну в охолоджуючому жилеті з повним обґрунтуванням отриманих результатів.

Якщо елементом захисного одягу служить охолоджуючий жилет, а не костюм, то в цьому випадку розподіл теплових потоків і співвідношення необхідного теплознімання будуть іншими. Визначимо ці параметри для охолоджуючого жилету, в якій посиленою теплоізоляцією ($M=2$ CLO або $0,31$ ($\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$) і системою охолодження забезпечені тільки найбільш уразливі частини тіла – голова і тулуб людини. Ноги і руки мають теплоізоляцію, яка відповідає спецодязу гірничорятувальника $M=1$ CLO або $0,155$ ($\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$). Теплові потоки для куртки при температурі (t) навколишнього середовища 40° і 50° , розраховані за допомогою комп’ютера із програмою «Баланс-1» та наведені в таблиці 1.1, де, як і раніше: Q_c, Q_b, Q_l – конвективний тепловий потік, що проникає з навколишнього середовища всередину жилету, тепловий потік випромінюванням, енерговитрати людини, відповідно, Вт.

На підставі рівняння теплових потоків можна розрахувати необхідну холодопродуктивність системи охолодження куртки (Q_x , Вт) і необхідний запас холодоагенту [6]:

$$Q_x = Q_c + Q_b + Q_l \cdot \quad (1.1)$$

Відповідно до даних таблиці (1.1) і рівнянням (1.1), отримуємо для температури навколишнього середовища 40°C – $Q_x = 313,5$ Вт, а для 50°C – $Q_x = 434,9$ Вт.

Таблиця 1.1 – Параметри теплообміну в охолоджуючому жилеті

$t, ^\circ\text{C}$	Частина тіла	$Q_c,$ Вт	$Q_b,$ Вт	$Q_l,$ Вт	$Q_c + Q_b + Q_l$	
					Вт	%
40	ноги	14,2	7,7	76,8	98,7	31,5
- -	руки	10,3	5,4	51,2	66,9	21,3
- -	голова + тулуб	11,9	8,0	128,0	147,9	47,2
- -	загалом:	36,4	21,1	256,0	313,5	100,0
50	ноги	42,7	24,2	76,8	143,7	33,0
- -	руки	31,0	17,2	51,2	102,4	23,6
- -	голова + тулуб	35,7	25,1	128,0	188,8	43,4

– –	загалом:	109,4	66,5	259,0	434,9	100,0
------	----------	-------	------	-------	-------	-------

Для розрахунку необхідного запасу холодоагента (льоду), використовуємо формулу:

$$m_{\text{л}} = 60 \tau_{\text{к}} \cdot Q_{\text{х}} / q_{\text{л}}, \quad (1.2)$$

де $\tau_{\text{к}}$ – час роботи в охолоджуючому жилеті, хв.;

$q_{\text{л}}$ – питомий запас холоду водяного льоду, Дж/кг.

Приймаємо час роботи в жилеті при 40°, що дорівнює 44 хв, при 50° – 16 хв і отримуємо за (1.2) необхідний запас льоду для цих температур, відповідно, 2,0 кг і 1,1 кг. З урахуванням деякого резерву слід прийняти запас льоду рівним 2,3 кг.

Розрахунок співвідношення необхідного теплотізнання для охолоджуючого жилету в області голови і тулуба проведено пропорційним перерахунком даних таблиці 1.1. В результаті частка необхідного теплотізнання з голови становить 30%, а з тулубу – 70%.

Результати розрахунку будуть використані для раціонального розподілу системи теплотізнання при розробленні нових видів пожежно-технічного обладнання (ПТО).

Теплообмінні процеси в системі «навколишнє середовище–охолоджуючий жилет–людина».

В умовах підвищених температур (до 40°C) найдоцільнішим з точки зору мінімальної маси і більшого часу захисної дії в порівнянні зі спецодягом є застосування протитеплого жилета з системою охолодження, що базується на використанні водольодяних охолоджуючих елементів ОЕ-2, розташованих на внутрішній поверхні оболонки жилета в ґратчастих пластмасових кишнях (див. рис. 1.1).

Результати розрахунку теплового балансу в протитепловій куртці в цьому випадку не можуть бути використані для протитеплого жилета, оскільки в ньому охолоджується тільки тулуб людини. Тому, для подальших досліджень теплообміну в системі „навколишнє середовище-охолоджуючий жилет-людина» необхідно знати площі поверхонь окремих частин тіла (S_i), які визначимо за даними антропометричних вимірювань у вигляді відносних величин (δ_i) і наведені в табл. 1.2 [5-7].

При розрахунку за вихідну величину прийнята загальна площа поверхні тіла, що дорівнює 1,8 м² для середньостатистичного чоловіка. Відповідно до цих даних частка поверхні тіла, що включає голову, руки і ноги, становить 60 % або $\delta_1 = 0.6$ при площі – $S_1 = 1,08 \text{ м}^2$, а для тулуба – 40 %, $\delta_2 = 0,4$, $S_2 = 0,72 \text{ м}^2$.

Таблиця 1.2 – Площа поверхні частин тіла людини

Частина тіла	$\delta_i, \%$		$S_i, \text{м}^2$	
голова	$\delta_1 = \sum_{i=1}^3$	7	$S_2 = \sum_{i=1}^3$	0,126
руки		22		0,396
ноги		31		0,558
тулуб	$\delta_2 = 40$		$S_2 = 0,72$	

Для досліджень теплообміну сумарною частини тіла, що включає голову, руки і ноги, складемо рівняння теплового балансу, в якому індекс «1» показує, що

відповідні величини теплових потоків $Q_1, \text{Вт}$, відносяться саме до цієї сумарної частини тіла:

$$Q_{S1} = \delta_1(Q_C + Q_R + Q_{EM}) + Q_{T1}, \quad (1.3)$$

де Q_{S1} – сумарний тепловий потік; Q_{T1} – теплопродукція організму людини, що відноситься до вказаних вище частин тіла.

Величину Q_{T1} можна записати у вигляді:

$$Q_{T1} = \delta_1 \cdot Q_M(1 - \mu), \quad (1.4)$$

де Q_M – загальні енерговитрати всього організму, Вт .

Формулу (3.100) можна записати в наступному вигляді:

$$Q_{S1} = Q_{C1} + Q_{R1} + Q_{EM1} + Q_{T1}. \quad (1.5)$$

У формулах (1.3) і (1.5) фігурує максимально можливе тепловідведення випаровуванням поту Q_{EM1} , який вірний в тому випадку, якщо в організмі відбувається накопичення тепла, і він не в змозі відвести його надлишок навіть при максимальному тепловідведенні шляхом випаровування поту. У той же час можливі ситуації, коли при певних параметрах мікроклімату і енерговитрат організм шляхом власної терморегуляції забезпечує нульове теплонакопичення, тобто організм не охолоджується і не нагрівається. При цьому терморегуляція відбувається, в основному, шляхом тепловідведення випаровуванням поту, який підтримується на рівні, що забезпечує нульове теплонакопичення в організмі. В даному випадку розрахунок необхідного (але не максимального Q_{EM1}) тепловідведення шляхом випаровування поту ($Q_{E1}, \text{Вт}$) проводиться з урахуванням формули (1.5) за умови $Q_{S1} = 0$, тобто

$$Q_{E1} = -(Q_{C1} + Q_{R1} + Q_{T1}). \quad (1.6)$$

Якщо $Q_{E1} \leq Q_{EM1}$, то тепловий стан організму можна виразити показником теплового напруження організму W у відносних одиницях:

$$W = Q_{E1} / Q_{EM1}. \quad (1.7)$$

Як впливає з визначення, показник W не може перевищувати одиницю.

Результати розрахунку показників за формулами (1.5-1.7) з використанням складеної комп'ютерної програми «Баланс» наведені в табл. 3.4. При розрахунку за цією програмою потоки, що відводять тепло від організму, мають знак «мінус», а підводять – знак «плюс».

Таблиця 1.3 – Показники теплообміну для сумарної частини тіла

Вихідні дані		Розрахункові дані						
$t_c, ^\circ\text{C}$	$B, \%$	$Q_{C1}, \text{Вт}$	$Q_{R1}, \text{Вт}$	$Q_{EM1}, \text{Вт}$	$Q_{E1}, \text{Вт}$	$Q_{T1}, \text{Вт}$	$Q_{S1}, \text{Вт}$	W
30	80	-36,2	-18,4	-184,0	-99,0	153,6	0,0	0,54
	90	-36,2	-18,4	-148,4	-99,0	153,6	0,0	0,67
	95	-36,2	-18,4	-131,0	-99,0	153,6	0,0	0,75
32	80	-21,7	-11,2	-149,7	-120,7	153,6	0,0	0,81
	90	-21,7	-11,2	-110,0	–	153,6	10,7	–
	95	-21,7	-11,2	-89,9	–	153,6	30,8	–
35	80	0,0	0,0	-91,5	–	153,6	62,4	–
	90	0,0	0,0	-45,6	–	153,6	108,0	–

	95	0,0	0,0	-21,6	–	153,6	132,0	–
--	----	-----	-----	-------	---	-------	-------	---

При цьому прийняті наступні вихідні дані: термічний опір одягу $M = 0.5CLO$ $0.08(\text{м}^2 \times \text{К})/\text{Вт}$; температура оточуючого повітря (t_c) 30, 32 і 35 °С; відносна вологість навколишнього повітря (B) 80, 90 і 95 %; енерговитрати людини $Q_M = 320$ Вт; швидкість руху повітря $v = 2$ м/с; зріст людини $h_{\text{л}} = 170$ см і її маса $m_{\text{л}} = 70$ кг; середньозважена температура шкіри 35 °С, а тому при $t_c = 35$ °С (при відсутності перепаду температур між навколишнім повітрям і поверхнею шкіри) $Q_{C1} = Q_{R1} = 0$.

Далі проводимо аналогічний розрахунок теплообміну тулуба з використанням формул ($x = 2 \cdot \dot{a} \cdot \sqrt{\tau}$) і ($A_{\text{П}} = T_0 + B_{\text{П}}$), в яких індекс «1» змінено на індекс «2» (табл. 1.4). Для розрахунку показників теплообміну прийняті ті ж вихідні дані, що і для розрахунку показників, наведених в табл. 1.1. Відмінність полягає лише в тому, що для тулуба тепловий опір одягу (жилета) прийнято $M = 2CLO$ $0,31(\text{м}^2 \text{К})/\text{Вт}$.

Зведені дані щодо теплонакопичення організму (див. табл. 1.2 і 1.3) наведені в табл. 1.5, де його сумарна величина: $Q_S = Q_{S1} + Q_{S2}$.

Аналогічно (1.2), використовуючи отримані дані, визначимо масу водяного льоду, необхідну для відведення тепла, що надходить в організм людини, і кількість охолоджуючих елементів ОЕ-2 відповідно:

$$m_{\text{л}} = 60Q_S \cdot \tau_{\text{ж}} / q_{\text{л}}, \quad n_{\text{ОЕ}} = m_{\text{л}} / m_{\text{ОЕ}}, \quad (1.8)$$

де $\tau_{\text{ж}}$ – час захисної дії жилета, хв; $m_{\text{ОЕ}}$ – маса ОЕ-2, кг.

Таблиця 1.4 – Показники теплообміну тулуба

Вихідні дані		Розрахункові дані				
$t_c, ^\circ\text{C}$	$B, \%$	$Q_{C2}, \text{Вт}$	$Q_{R2}, \text{Вт}$	$Q_{EM2}, \text{Вт}$	$Q_{T2}, \text{Вт}$	$Q_{S2}, \text{Вт}$
30	80	-9,4	-6,5	-48,8	102,4	37,7
	90	-9,4	-6,5	-39,4	102,4	47,1
	95	-9,4	-6,5	-34,7	102,4	51,8
32	80	-5,6	-3,9	-39,7	102,4	53,2
	90	-5,6	-3,9	-29,2	102,4	63,7
	95	-5,6	-3,9	-23,8	102,4	69,1
35	80	0,0	0,0	-24,3	102,4	78,1
	90	0,0	0,0	-12,3	102,4	90,1
	95	0,0	0,0	-5,7	102,4	96,7

Таблиця 1.5 – Зведені дані щодо теплонакопичення організму

Вихідні дані		Розрахункові дані		
$t_c, ^\circ\text{C}$	$B, \%$	$Q_{S1}, \text{Вт}$	$Q_{S2}, \text{Вт}$	$Q_S, \text{Вт}$
30	80	0,0	37,7	37,7
	90	0,0	47,1	47,1
	95	0,0	51,8	51,8
32	80	0,0	53,2	53,2
	90	10,7	63,7	74,4
	95	30,8	69,1	99,9
35	80	62,1	78,1	140,2

	90	108,0	90,1	198,1
	95	132,0	96,7	228,7

Виберемо найбільший діапазон мікрокліматичних умов, що часто зустрічаються на пожежі і у виробітках шахт, що перевищують норми ПБ, на які слід орієнтуватися при подальших розрахунках. Так, наприклад, при температурі шахтного повітря 32 °С і його відносній вологості 95 % $Q_S = 99,9$ Вт, а при температурі 35 °С і вологості 80 % $Q_S = 140,2$ Вт (див. табл. 1.5). Візьмемо середнє між ними значення і приймемо для подальших розрахунків $Q_S = 120$ Вт, час холодної дії жилета (час повного танення льоду в жилеті до температури 20 °С при одноразовому спорядженні його ОЕ-2) $\tau_{ж} = 120$ хв, при цьому питомий запас холоду водяного льоду за рахунок його теплоти плавлення $q_{л} = 335 \cdot 10^3$ Дж/кг.

Виходячи з прийнятих вихідних даних, отримуємо за формулою ($\tilde{A} = T_0 - B_{п} = T_0 - \tilde{b} \cdot \tilde{B}$) необхідну масу водяного льоду $m_{л} = 2,6$ кг. У стандартному водольодяному елементі ОЕ-2 маса льоду $m_{ОЕ} = 0,173$ кг. Отже, для одноразового спорядження жилета необхідна кількість ОЕ-2 $n_{ОЕ} = 15$ шт. В даному випадку при переспорядженні жилета охолоджуючими елементами через кожні 120 хв і при 6-годинній робочій зміні контейнер місткістю 60 шт. ОЕ-2 забезпечить роботу одного рятувальника з запасом 15 ОЕ-2, які можна використовувати для екстреного охолодження потерпілих при перегріванні організму і механічних травмах, а при важчих умовах – повністю протягом зміни.

Проаналізуємо залежність допустимої тривалості роботи (ДТР) рятувальника в спецодязі (без охолодження) і в спецодязі з охолоджуючим жилетом від різних факторів.

Наступні розрахунки відповідних залежностей та отримані за ним результати базуються на наступних теплових балансах гірника при заданих параметрах мікроклімату і фізичного навантаження:

- при роботі в спецодязі

$$Q_S = Q_C + Q_R + Q_{EM} + Q_M(1-\mu) + Q_D, \quad (1.9)$$

- при роботі в охолодному жилеті

$$Q_S = Q_C + Q_R + Q_{EM} + Q_M(1-\mu) + Q_D - Q_X, \quad (1.10)$$

де Q_S – сумарний тепловий потік, що нагріває або охолоджує тіло людини, Вт; Q_D – теплообмін диханням; Q_X – тепловідведення системою охолодження жилета. Відповідно до фізіологічних норм ДТР обмежується допустимим приростом середньої температури тіла людини, рівним 2 °С.

Для роботи в спецодязі розрахунок проведено за складеною комп'ютерній програмі BALANS1D, а для роботи в жилеті – за програмою BALANS1DX.

Залежність ДТР від температури повітря і від швидкості його руху наведені на рис. 1.1, а від температури повітря і його відносної вологості – на рис. 1.2.

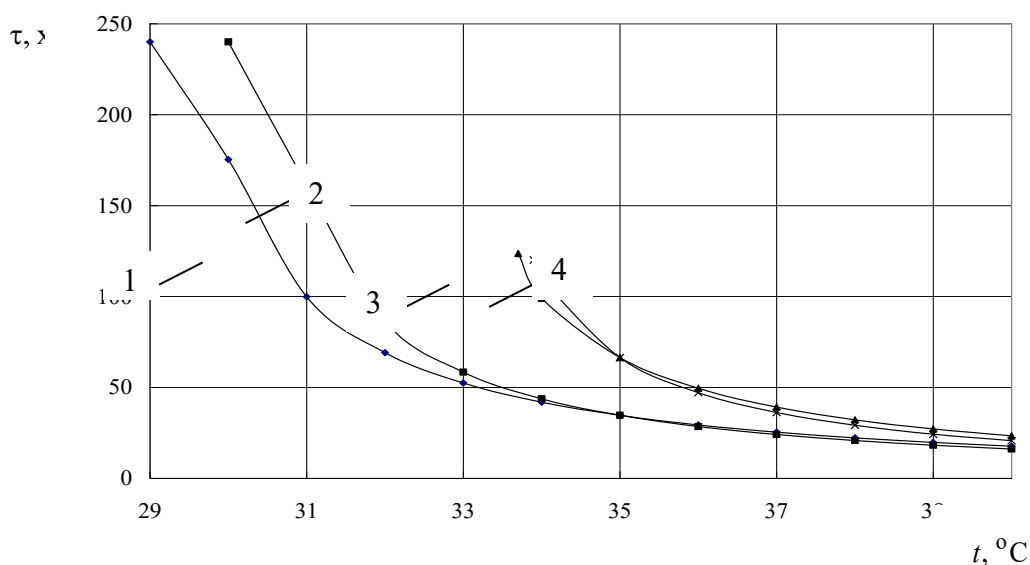


Рисунок 1.1 – Допустима тривалість роботи рятувальника в спецодязі і в охолоджуючому жилеті (одне спорядження ОЕ-2) при енерговитратах 320 Вт і відносній вологості повітря 100%: 1, 2 – в спецодязі при $v = 1$ м/с і 5 м/с; 3, 4 – в охолоджувальному жилеті при $v = 1$ м/с і 5 м/с

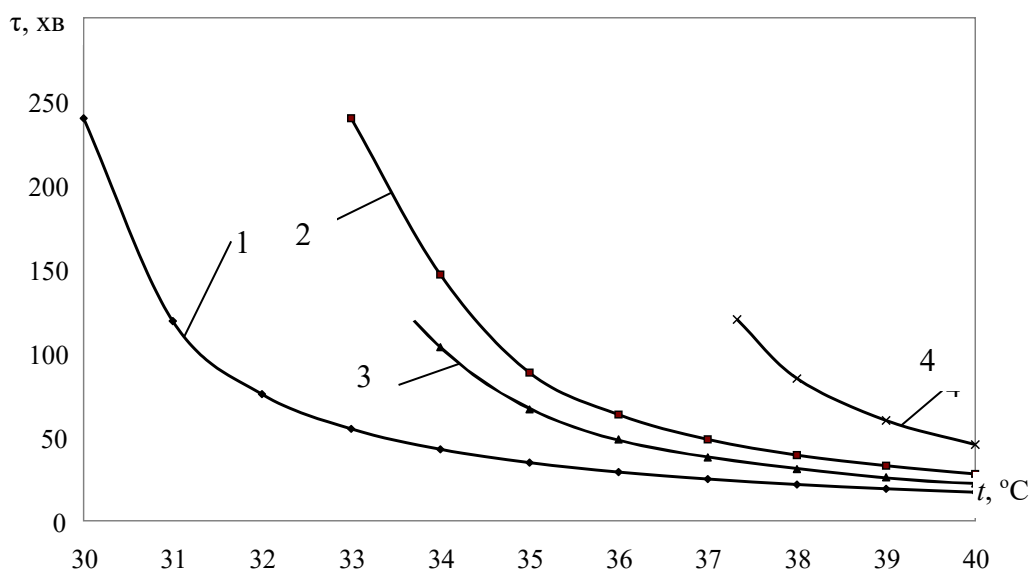


Рисунок 1.2 – Допустима тривалість роботи рятувальника в спецодязі та охолоджуючому жилеті (одне спорядження ОЕ-2) при енергозатратах 320 Вт і швидкості руху повітря 2 м/с: 1, 2 – в спецодязі при $B = 100\%$ і 75% ; 3, 4 – в охолоджуючому жилеті $B = 100\%$ і 75%

Оскільки ДТР в охолоджуючому жилеті розраховане для одноразового спорядження його ОЕ-2, тому воно обмежене часом повного танення льоду, рівним 120 хв. Результати досліджень (див. рис. 1.1) показують істотну ефективність охолоджуючого жилета. Так, наприклад, при температурі повітря 34° ДТР в спецодязі дорівнює 42-44 хв, а в охолодженому жилеті – 100-110 хв, тобто більше в 2,4-2,5 рази. При температурі 35° ДТР в жилеті більше в 1,9 рази.

Характерно, що при температурі повітря 35°C криві перетинаються (як для спецодягу, так і для жилета). Це пояснюється рівністю в даній точці температури

повітря і температури поверхні шкіри людини, а також тим, що відносна вологість навколишнього повітря і шару повітря над поверхнею шкіри дорівнює 100%. Тому швидкість руху повітря в даній точці (35°) на теплообмін не впливає. Характерно також, що при температурі навколишнього повітря нижче 35° збільшення швидкості його руху сприяє збільшенню відведення тепла від організму людини і, відповідно, збільшенню ДТР, а при температурі повітря вище 35° спостерігається зворотна залежність – при збільшенні швидкості руху повітря збільшується теплоприплив до організму людини і внаслідок цього зменшується ДТР.

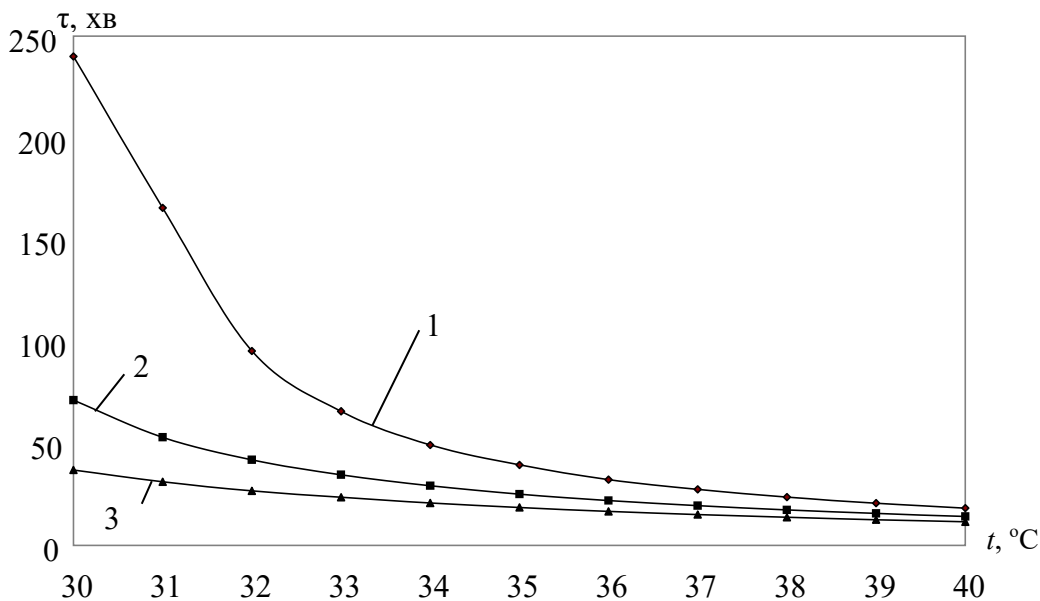


Рисунок 1.3 – Допустима тривалість роботи рятувальника в спецодезії без охолодження в залежності від енергозатрат: 1 – 320 Вт; 2 – 480 Вт; 3 – 640 Вт

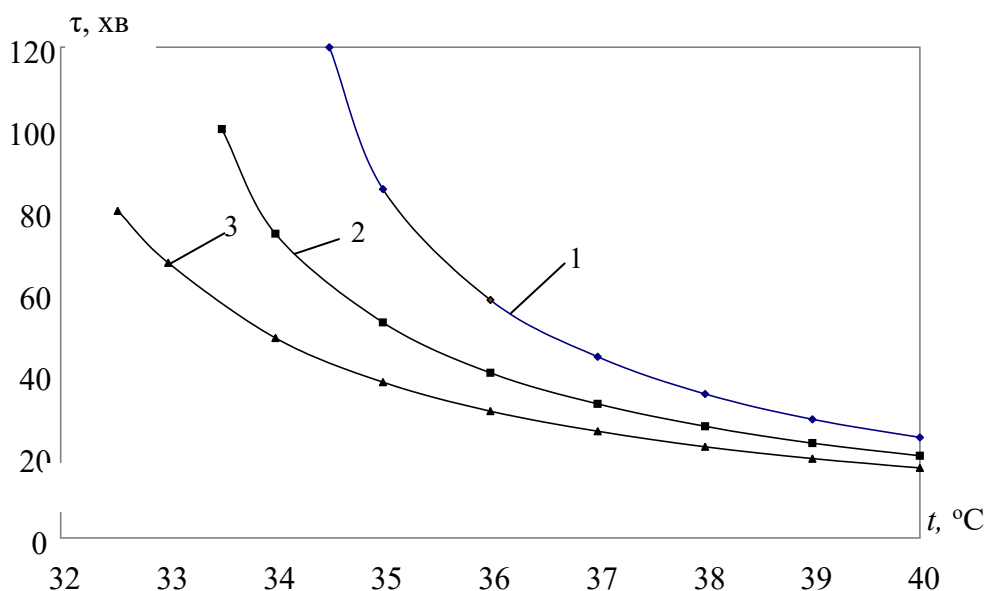


Рисунок 1.4 – Допустима тривалість роботи рятувальника в охолодженій жилеті (при одноразовому оснащенні ОЕ-2) в залежності від енерговитрат: 1 - 320 Вт; 2 - 480 Вт; 3 - 640 Вт

Залежність ДТР від температури повітря і від фізичного навантаження (від енерговитрат) на рятувальника, який працює в спецодязі і в охолодному жилеті, при відносній вологості навколишнього повітря 95% і швидкості його руху $v = 2$ м/с наведені на рис. 1.3 і 1.4.

При розрахунку залежностей, наведених на рис. 3.32, враховано таку обставину. При збільшенні енерговитрат відповідно збільшується теплопродукція організму людини. Оскільки тепловий потік (теплопродукція) від організму людини збільшується, то інтенсивніше тане лід в ОЕ-2 і, певною мірою, збільшується тепловий потік, що поглинається ОЕ-2, одночасно зменшується час повного танення льоду і цим визначається час захисної дії жилета при одному його спорядженні ОЕ-2.

При розрахунку прийнято припущення, що тепловий потік (Q_X), що поглинається ОЕ-2, пропорційний теплопродукції організму людини, а час повного танення льоду ОЕ-2 обернено пропорційно їй.

В цілому проведені теоретичні дослідження показують, що застосування охолоджуючих жилетів дозволяє істотно збільшити допустиму тривалість роботи рятувальників при ергономічному навантаженні, а, отже, підвищити продуктивність праці, забезпечуючи їх безпеку.

Висновки

Результати показують істотний вплив енерговитрат пожежника-рятувальника на допустиму тривалість роботи, причому при роботі в охолодженому жилеті вона, в основному, більше ніж в два рази, ніж при роботі в спецодязі.

Наведені в даній роботі математичні залежності результатів досліджень дозволяють:

1. Проводити необхідні розрахунки при складанні планів ліквідації аварій.
2. Прогнозувати швидкість пересування рятувальників (членів ВГК) по заданому маршруту з різними гірничо-геологічними умовами.
3. Час проходження заданого маршруту, витрата кисню із респіратору і енерговитрати їх організму.
4. Це дозволяє оперативно і безпомилково проводити багато розрахунків за програмою «Термоерг», приймати правильне рішення, що забезпечить ефективне і безпечне проведення аварійно-рятувальних робіт в екстремальних мікрокліматичних умовах [9].

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Наказ МНС України від 26.04.2018 року № 340 „Про затвердження Статуту дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту та Статуту дій органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту під час гасіння пожеж”, 2018. – 209 с.

2. Наказ МНС України від 07.05.2007 р. № 312 „Про затвердження Правил безпеки праці в органах і підрозділах Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи”, 2007. – 282 с.

3. ДСТУ-Н Б А 3.2-1:2007 Система стандартів безпеки праці. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при

виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використанні в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва, 2007. – 25 с.

4. Гаврилко О.А, к.т.н., м. Львів, НУ „Львівська політехніка”, доцент кафедри будівельні конструкції та мости „Математична модель тепломасопереносу в газотеплозахисному костюмі з водольодяними акумуляторами холоду”. Вісник „НУ ЛП” – №627. 2008 р. „Теорія та практика будівництва”, – С. 38-41.

5. Гаврилко О.А. Математичне моделювання нестационарного переносу тепла в захисному одязі пожежних і гірничорятувальників з водольодяною системою охолодження// Пожежна безпека: Зб.наук. праць, ЛПБ; УкрНДІПБ МНС України. – Львів, 2002. № 3. С. 76-82.

6. Havrylko A., Bilinskiy B., Dendarenko Y. Processes of heat and mass transfer in gas and heat protective suit with ice-water cold-storage accumulators // Вісник Національного університету „Львівська політехніка”. Серія: Теорія і практика будівництва, 2018. – № 888, – С. 43-51.

7. Standard: PN EN 14605. Title: Protective clothing against liquid chemicals - Performance requirements for clothing with liquid-tight (Type 3) or spray-tight (Type 4) connections, including items providing protection to parts of the body only (Types PB and PB) (includes Amendment A1:2009).

REFERENCES

1. Order of the Ministry of Emergency Situations of Ukraine dated April 26, 2018 No. 340 "On the approval of the Statute of actions in emergency situations of management bodies and units of the Operational and Rescue Service of Civil Protection and the Statute of Actions of management bodies and units of the Operational and Rescue Service of Civil Protection during firefighting", 2018 . – 209 p.

2. Order of the Ministry of Emergency Situations of Ukraine dated 05/07/2007 No. 312 "On approval of occupational safety rules in the bodies and divisions of the Ministry of Emergency Situations of Ukraine and in matters of population protection from the consequences of the Chernobyl disaster", 2007. - 282 p.

3. DSTU-NB A 3.2-1:2007 System of labor safety standards. Guidelines on the determination of dangerous and harmful factors and protection against their influence in the production of construction materials and products and their use in the process of construction and operation of construction objects, 2007. - 25 p.

4. Havrylko O.A., Ph.D., Lviv, Lviv Polytechnic University, associate professor of the Department of Building Structures and Bridges "Mathematical model of heat and mass transfer in a gas-heat protective suit with hydrogen-ice cold accumulators". Bulletin "NU LP" - No. 627. 2008. "Theory and practice of construction", P. 38-41.

5. Havrylko O.A. Mathematical modeling of non-stationary heat transfer in the protective clothing of firefighters and mountain rescuers with a water-ice cooling system// Fire safety: Zb.nauk. works, LIPB; UkrNDIPB of the Ministry of Emergency Situations of Ukraine. – Lviv, 2002. No. 3. P. 76-82.

6. Havrylko A., Bilinskiy B., Dendarenko Y. Processes of heat and mass transfer in gas and heat protective suit with ice-water cold-storage accumulators // Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic". Series: Theory and practice of construction, 2018. - No. 888, - P. 43-51.

7. Standard: PH EN 14605. Title: Protective clothing against liquid chemicals - Performance requirements for clothing with liquid-tight (Type 3) or spray-tight (Type 4) connections, including items providing protection to parts of the body only (Types PB and PB) (includes Amendment A1:2009).

*Oleksandr HAVRYLKO, candidate technical Sciences, docent
Yuriy DENDARENKO, candidate technical of Sciences, docent
Lviv Polytechnic National University
Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chornobyl Heroes
of National University of Civil Protection of Ukraine*

STUDY OF THE HEAT EXCHANGE PROCESS IN A COOLING VEST DURING EMERGENCY LIQUIDATION

The article is devoted to the study of the process of heat exchange in a cooling vest during the liquidation of emergency situations under conditions of ergothermic loads.

In the conditions of martial law, during emergency rescue operations by the units of the State Emergency Service of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine, as a result of rocket and bomb attacks, extreme microclimatic conditions arise (high temperature, high and low humidity, air movement speed, gas pollution, dense smoke).

Carrying out emergency and rescue work on fires and liquidation of accidents requires the personnel of the Operational and Rescue Service of the Emergency Situations of Emergency Situations to respond quickly to emergency situations, make effective technical decisions, high professionalism and is associated with high physical and psychoemotional stress on the body of the firefighter-rescuer [1].

The most effective measure aimed at preserving the health and life of workers in these conditions is the use of methods and means of individual heat protection, which is the subject of this article, which is prepared on the basis of the results of scientific research on fire safety, occupational safety of firefighter-rescuers, mining rescuers.

According to the "Rules of occupational safety in bodies and units of the Ministry of Emergency Situations of Ukraine and in matters of public protection from the consequences of the Chernobyl disaster" and "Rules of safety in coal mines" in mines where people are constantly (during the shift), the permissible air temperature should not exceed 26°C [2, 3].

The article examines the results of experimental studies of energy consumption and the thermal state of the body of firefighters in a cooling vest.

The main components of the heat balance, on which the duration of the firefighter's work depends, are the internal energy produced by her body - the body's heat production, which in turn depends on the amount of energy consumption, and external energy that penetrates from the outside.

At the same time, external energy is, as a rule, a factor independent of a person, and internal energy depends on many parameters.

Key words: *firefighter-rescuer, process of heat and mass exchange, ergothermic loads, body temperature, cooling vest.*